

KALAX

Aplicació de principis de Location Based Entertainment i gamificació al treball manual de magatzem



Autor: Lluç Ferrando Jordà

Tutor: Oscar Garcia Pañella

26 de Juny del 2026

Abstract

This thesis examines how Location Based Entertainment (LBE) design principles and user-centred gamification can generate measurable impact in physical, repetitive work environments. As a primary contribution, it introduces Kalax: a novel multi-order picking and packing method designed for e-commerce warehouses that replaces the inefficient traditional single-order picking workflow. Kalax operates through a cooperative two-operator model — a printer and a packer — in which an unordered bag of products is processed in real time: the printer scans each product and the system directs its placement into a fully configurable physical grid via LED feedback and audio cues, while the packer retrieves completed orders from the opposite side of the shelf. The grid dimensions and slot count are entirely customizable, subject only to available warehouse space and infrastructure capacity. Building on this operational foundation, a gamification and LBE layer was designed and implemented as a functional prototype, integrating progression mechanics, real-time multisensory feedback, opt-in social elements, adaptive challenge and guided onboarding. The system was validated with ten warehouse operators through a mixed-methods protocol combining quantitative scales with qualitative techniques. The results indicate that combining a structurally superior picking method with immersive gamification principles improved operator engagement, reduced error rates (from 3.14% to 1.03%) and shortened time per order (from 3.05 to 1.72 minutes), generating a positive, measurable impact. These findings establish the Kalax Framework as a replicable design model for human-centred warehouse optimization.

Keywords

Location Based Entertainment, gamification, warehouse logistics, multi-order picking, e-commerce fulfilment, Flow Theory, Self-Determination Theory, user experience, put-to-light, Kalax Framework, cooperative work design, human-centered design, Serious Games Canvas.

Resum

Aquest Treball de Final de Grau investiga com els principis de disseny del Location Based Entertainment (LBE) — entès com el conjunt d'experiències d'entreteniment ancorades en un espai físic dissenyat per ser viscut in situ (Ford, 2022) — i la gamificació centrada en la persona usuària poden generar un impacte mesurable en entorns de treball físic i repetitiu. El treball s'emmarca en el context d'Amphora Logistics, una empresa tecnològica de logística 3PL (third-party logistics, externalització integral de la cadena de subministrament) especialitzada en e-commerce amb seu a Barcelona, que gestiona la cadena de subministrament completa de marques digitals des de l'emmagatzematge fins a l'enviament final a la clientela.

El punt de partida és un problema operatiu documentat: el mètode de picking 1x1, en què l'operari/ària recull i empaqueta les comandes de manera seqüencial i individual, és estructuralment ineficient en escenaris d'alta variabilitat i volum propis de l'e-commerce. A Amphora opera com a darrer recurs, perjudicial i poc productiu, però necessari quan els sistemes principals fallen. Per adreçar aquesta limitació, aquest TFG dissenya Kalax: un nou mètode integral de multi-order picking i packing que cobreix tot el flux operatiu, des de la recollida fins a l'empaquetat dels productes, i que permet processar múltiples comandes simultàniament mitjançant una graella física configurable i adaptable a les necessitats físiques i espacials de cada magatzem, juntament amb feedback LED i auditiu.

Sobre aquesta base operativa s'aplica una capa de gamificació i LBE dissenyada per adreçar el segon problema identificat: la naturalesa repetitiva del treball manual genera desengament, errors i alta rotació de personal, una de les més elevades de qualsevol indústria. El marc teòric integra Octalysis (Chou, 2015), MDA (Hunicke et al., 2004), la Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985) i la Flow Theory (Csikszentmihalyi, 1990) amb els principis del LBE, el Themed Entertainment i el Serious Games Canvas (Garcia Pañella, 2018). A partir d'aquest marc es defineixen cinc mecàniques: progressió, feedback en temps real, elements socials, desafiament adaptatiu i onboarding. La implementació es va materialitzar com a prototip funcional en Vue.js 3 integrat amb la infraestructura existent d'Amphora.

El sistema es valida amb deu operaris/àries combinant SUS (Brooke, 1996), NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988), UEQ (Laugwitz et al., 2008) i PENS (Ryan et al., 2006) amb el Think-Aloud Protocol (Ericsson & Simon, 1993), entrevistes semiestructurades i indicadors quantitatius com el temps per ordre i la taxa d'error. Els resultats confirmen les sis hipòtesis de treball: Kalax redueix el temps per ordre (de 3,05 a 1,72 minuts) i la taxa d'error (del 3,14% a l'1,03%), i la capa de gamificació millora la usabilitat (SUS de 77 a 89), redueix la càrrega de treball percebuda (NASA-TLX de 46,6 a 37,0) i incrementa la satisfacció de les necessitats psicològiques bàsiques. Aquests resultats validen el Kalax com a model replicable i indiquen que l'aplicació de principis de LBE i gamificació al treball manual repetitiu millora l'engagement, redueix els errors i genera un impacte positiu i mesurable.

Resumen

Este Trabajo de Final de Grado investiga cómo los principios de diseño del Location Based Entertainment (LBE) — entendido como el conjunto de experiencias de entretenimiento ancladas en un espacio físico diseñado para ser vivido in situ (Ford, 2022) — y la gamificación centrada en la persona usuaria pueden generar un impacto medible en entornos de trabajo físico y repetitivo. El trabajo se enmarca en el contexto de Amphora Logistics, una empresa tecnológica de logística 3PL (third-party logistics, externalización integral de la cadena de suministro) especializada en e-commerce con sede en Barcelona, que gestiona la cadena de suministro completa de marcas digitales desde el almacenamiento hasta el envío final a la clientela.

El punto de partida es un problema operativo documentado: el método de picking 1x1, en el que el operario/a recoge y empaqueta los pedidos de forma secuencial e individual, es estructuralmente ineficiente en escenarios de alta variabilidad y volumen propios del e-commerce moderno. En Amphora opera como fallback de último recurso, perjudicial y poco productivo, pero necesario cuando los sistemas principales fallan. Para abordar esta limitación, este TFG diseña Kalax: un nuevo método integral de multi-order picking y packing que cubre todo el flujo operativo, desde la recogida hasta el empaquetado de los productos, y que permite procesar múltiples pedidos simultáneamente mediante una rejilla física configurable con feedback LED y auditivo. El número de slots activos es totalmente configurable y se adapta al espacio, la infraestructura y las necesidades de cada almacén.

Sobre esta base operativa se aplica una capa de gamificación y LBE diseñada para abordar el segundo problema identificado: la naturaleza repetitiva del trabajo manual genera desengagement, errores y alta rotación de personal, una de las más elevadas de cualquier industria. El marco teórico integra Octalysis (Chou, 2015), MDA (Hunicke et al., 2004), la Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985) y la Flow Theory (Csikszentmihalyi, 1990) con los principios del LBE, el Themed Entertainment y el Serious Games Canvas (García Pañella, 2018). A partir de este marco se definen cinco mecánicas: progresión, feedback en tiempo real, elementos sociales, desafío adaptativo y onboarding. La implementación se materializó como prototipo funcional en Vue.js 3 integrado con la infraestructura existente de Amphora.

El sistema se valida con diez operarios/as combinando SUS (Brooke, 1996), NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988), UEQ (Laugwitz et al., 2008) y PENS (Ryan et al., 2006) con el Think-Aloud Protocol (Ericsson & Simon, 1993), entrevistas semiestructuradas e indicadores cuantitativos como el tiempo por pedido y la tasa de error. Los resultados confirman las seis hipótesis de trabajo: Kalax reduce el tiempo por pedido (de 3,05 a 1,72 minutos) y la tasa de error (del 3,14% al 1,03%), y la capa de gamificación mejora la usabilidad (SUS de 77 a 89), reduce la carga de trabajo percibida (NASA-TLX de 46,6 a 37,0) e incrementa la satisfacción de las necesidades psicológicas básicas. Estos resultados validan el Kalax como modelo replicable e indican que la aplicación de principios de LBE y gamificación al trabajo manual repetitivo mejora el engagement, reduce los errores y genera un impacto positivo y medible.

Summary

This Bachelor's Thesis investigates how the design principles of Location Based Entertainment (LBE) — understood as the set of entertainment experiences anchored in a physical space designed to be experienced in situ (Ford, 2022) — and user-centred gamification can generate a measurable impact in physical and repetitive work environments. The work is framed within the context of Amphora Logistics, a 3PL logistics technology company (third-party logistics, full outsourcing of the supply chain) specialised in e-commerce and headquartered in Barcelona, which manages the complete supply chain of digital brands from warehousing to final delivery to the customer.

The starting point is a documented operational problem: the 1x1 picking method, in which the operator picks and packs orders sequentially and individually, is structurally inefficient in the high-variability, high-volume scenarios characteristic of modern e-commerce. At Amphora it operates as a last-resort fallback — detrimental and unproductive, yet necessary when primary systems fail. To address this limitation, this thesis designs Kalax: a new comprehensive multi-order picking and packing method that covers the entire operational flow, from collection to product packaging, enabling the simultaneous processing of multiple orders through a configurable physical grid with LED and auditory feedback. The number of active slots is fully configurable and adapts to the space, infrastructure, and needs of each warehouse.

On top of this operational foundation, a gamification and LBE layer is applied to address the second identified problem: the repetitive nature of manual work generates disengagement, errors, and high staff turnover, among the highest of any industry. The theoretical framework integrates Octalysis (Chou, 2015), MDA (Hunicke et al., 2004), Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985), and Flow Theory (Csikszentmihalyi, 1990) with the principles of LBE, Themed Entertainment, and the Serious Games Canvas (Garcia Pañella, 2018). From this framework, five mechanics are defined: progression, real-time feedback, social elements, adaptive challenge, and onboarding. The implementation took the form of a functional prototype in Vue.js 3 integrated with Amphora's existing infrastructure.

The system was validated with ten operators, combining SUS (Brooke, 1996), NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988), UEQ (Laugwitz et al., 2008), and PENS (Ryan et al., 2006) with the Think-Aloud Protocol (Ericsson & Simon, 1993), semi-structured interviews, and quantitative indicators such as time per order and error rate. The results confirmed the six working hypotheses: Kalax reduced time per order (from 3.05 to 1.72 minutes) and the error rate (from 3.14% to 1.03%), while the gamification layer improved usability (SUS from 77 to 89), reduced perceived workload (NASA-TLX from 46.6 to 37.0), and increased the satisfaction of basic psychological needs. These results validate Kalax as a replicable model and indicate that applying LBE and gamification principles to repetitive manual work improves engagement, reduces errors, and generates a positive, measurable impact.

Glossari de termes

Aquest TFG combina vocabulari de quatre camps disciplinaris (game design, UX, logística i enginyeria de software) que sovint comparteixen termes amb significats lleugerament diferents. Aquest glossari fixa la definició operativa utilitzada al llarg del document. Els termes apareixen també en cursiva la primera vegada que es mencionen al cos del text.

Termes de gamificació i game design

Desafiament adaptatiu (dynamic difficulty adjustment, DDA): mecànica que ajusta automàticament la dificultat dels reptes a partir del rendiment observat de la persona usuària, per mantenir l'equilibri entre repte i habilitat que sosté l'estat de flow.

Engagement: grau d'implicació cognitiva, emocional i conductual d'una persona amb una activitat. Es distingeix de la simple motivació perquè implica sostenibilitat temporal.

Flow: estat psicològic d'absorció òptima en una activitat, caracteritzat per concentració intensa, sentit del control, distorsió de la percepció del temps i pèrdua de l'autoconsciència. Sorgeix quan el repte d'una tasca està equilibrat amb les habilitats de la persona. Conceptualitzat per Csikszentmihalyi (1990).

Gamificació: «ús d'elements de disseny de jocs en contextos no lúdics», segons la definició de referència de Deterding, Dixon, Khaled i Nacke (2011). No equival a convertir una tasca en un joc, sinó a aplicar selectivament mecàniques, dinàmiques i estètiques de joc a una activitat que continua sent funcional.

Hexad: taxonomia de tipologies d'usuari/ària en sistemes gamificats proposada per Marczewski (2015): Achiever, Socialiser, Free Spirit, Player, Disruptor i Philanthropist. S'utilitza per preveure la diversitat motivacional de l'audiència i justificar el caràcter opt-in de les mecàniques.

Kudos: reconeixement breu i voluntari enviat entre companys/es dins de la capa social de Kalax; s'acumula al perfil individual sense generar cap comparació pública.

Leaderboard: taula de classificació entre persones usuàries. A Kalax és opt-in, setmanal, basada en la precisió —mai en la velocitat— i anonimitzable amb sobrenoms.

MDA: framework Mechanics-Dynamics-Aesthetics (Hunicke, LeBlanc & Zubek, 2004) que descriu els jocs en tres capes: les mecàniques implementades, les dinàmiques emergents i les estètiques experimentades.

Mecàniques (de joc): regles i sistemes que defineixen com s'interactua amb un joc. Al model MDA (Hunicke et al., 2004) són la capa més baixa, sobre la qual emergeixen dinàmiques i estètiques.

Octalysis: framework de gamificació de Yu-kai Chou (2015) que organitza la motivació humana en vuit core drives (impulsos nuclears), distingint entre estímuls white-hat (positius i sostenibles) i black-hat (basats en pressió o por).

Onboarding: procés guiat d'incorporació d'una persona usuària a un sistema, dissenyat per reduir la corba d'aprenentatge inicial.

Opt-in: principi de disseny segons el qual una funcionalitat només s'activa per decisió explícita i reversible de la persona usuària. A Kalax regeix tota la capa social i lúdica.

PBL: acrònim de Points, Badges and Leaderboards. Conjunt de mecàniques superficials criticat per Burke (2014) com a «gamificació de baixa qualitat» quan s'aplica sense ancoratge en motivació intrínseca.

Self-Determination Theory (SDT): teoria de la motivació humana de Deci i Ryan (1985) segons la qual la motivació intrínseca depèn de la satisfacció de tres necessitats psicològiques bàsiques: autonomia, competència i relació.

Serious Games Canvas (SGC): eina de disseny visual desenvolupada per Garcia Pañella (2018) que estructura el disseny d'experiències gamificades en blocs interconnectats: objectius pedagògics, públic, mecàniques, dinàmiques, estètiques, narrativa, mètriques i context. S'utilitza en aquest TFG com a marc estructurador del disseny de la capa de gamificació de Kalax.

XP: experience points; punts d'experiència acumulables que tradueixen accions de la persona usuària en progressió quantificada.

Termes de Location Based Entertainment i Themed Entertainment

Environmental storytelling: narrativa transmesa a través de l'espai físic i els seus elements, sense necessitat de diàleg explícit. Concepte popularitzat per Henry Jenkins i central a la pràctica de la Walt Disney Imagineering.

Immersió ambiental: estat en què l'entorn físic dissenyat es converteix en la realitat dominant per a la persona participant (Witmer & Singer, 1998).

Location Based Entertainment (LBE): disciplina que dissenya experiències d'entreteniment ancorades en un espai físic concret, on la presencialitat corporal de la persona usuària, els objectes tangibles i l'ambientació formen part inseparable de l'experiència. Exemples paradigmàtics: parcs temàtics, escape rooms, instal·lacions immersives com Meow Wolf o experiències teatrals com Sleep No More.

Presència: experiència subjectiva d'estar en un lloc o entorn, fins i tot quan hom es troba físicament situat en un altre (Witmer & Singer, 1998). En el LBE s'aconsegueix mitjançant la configuració intencional de l'espai físic.

Storyliving: evolució del storytelling on la persona no només escolta la història sinó que la viu activament dins de l'espai dissenyat.

Themed Entertainment: pràctica de disseny d'entorns d'oci on tots els elements — arquitectura, il·luminació, so, atrezzo, narrativa i comportament del personal — convergeixen en una temàtica coherent. La Themed Entertainment Association (TEA) és la principal entitat professional del sector.

Termes de logística i picking

3PL: third-party logistics; model de negoci en què una empresa externalitza la gestió de la seva cadena logística (emmagatzematge, preparació de comandes, enviament) a un proveïdor especialitzat.

Fulfillment: conjunt d'operacions que executen una comanda d'e-commerce des de la recepció fins al lliurament: recollida, empaquetat, etiquetatge i expedició.

Handbag: terme operatiu utilitzat a Amphora per referir-se al contenidor que l'operari/ària omple durant la fase de picking amb productes corresponents a múltiples comandes barrejades, prèviament a l'etapa de sorting.

Job (picking job): unitat de treball generada pel backend que agrupa un conjunt de comandes compatibles per ser processades en una mateixa sessió Kalax, juntament amb la ruta de recollida optimitzada corresponent.

Multi-order picking: mètode que permet processar diverses comandes simultàniament durant una mateixa ruta o sessió, generalment mitjançant una etapa intermèdia de sorting.

Packer: rol operatiu de Kalax situat al costat de sortida de la graella; recull els productes dels slots en verd (comandes completes) i els empaqueta amb la seva etiqueta d'enviament.

Packing: procés d'empaquetat de la comanda preparada, generalment posterior al picking, que inclou la selecció de l'embalatge, la inserció dels productes i la generació de l'etiqueta d'enviament.

Picking: procés de recollida física de productes a un magatzem per preparar comandes. És, segons Tompkins et al. (2010), l'activitat que concentra entre el 55% i el 65% del cost operatiu d'un magatzem de fulfillment.

Picking 1x1: mètode tradicional en què un/una operari/ària processa una única comanda completa (recollida + empaquetat) abans de començar la següent. És el mètode de fallback documentat a Amphora.

Printer: rol operatiu de Kalax situat al costat d'entrada de la graella; escaneja cada producte de la handbag i el col·loca al slot que el sistema li indica mitjançant la pantalla i els LEDs.

Put-to-light: sistema industrial de feedback visual on un LED indica el slot on s'ha de col·locar cada producte durant el sorting. Estàndard del sector des dels anys 90.

Slot: posició física a la graella Kalax assignada dinàmicament a una comanda en curs d'empaquetatge.

Sorting: etapa intermèdia del flux multi-order en què els productes recollits a granel es classifiquen per comanda sobre la graella física.

Throughput: nombre de comandes completades per unitat de temps; indicador objectiu d'eficiència operativa utilitzat al capítol de resultats.

WMS: Warehouse Management System; programari que gestiona l'operativa diària d'un magatzem (inventari, ubicacions, rutes, ordres).

Termes tècnics i d'avaluació

Modbus RTU sobre RS-485: protocol de comunicació industrial sèrie, robust en entorns amb interferència electromagnètica, utilitzat per connectar el bus de LEDs de Kalax.

NASA-TLX: NASA Task Load Index (Hart & Staveland, 1988); instrument que mesura la càrrega de treball percebuda en sis dimensions: demanda mental, física, temporal, rendiment, esforç i frustració.

PENS: Player Experience of Need Satisfaction (Ryan, Rigby & Przybylski, 2006); escala derivada de la Self-Determination Theory que mesura específicament fins a quin punt una experiència interactiva satisfà autonomia, competència i relació.

Socket.IO: biblioteca JavaScript que permet comunicació bidireccional en temps real entre client i servidor, utilitzada a Kalax per sincronitzar la interfície amb el backend sense polling.

SUS: System Usability Scale (Brooke, 1996); escala validada de 10 ítems Likert per mesurar la usabilitat percebuda d'un sistema. Puntuació de 0 a 100; un valor superior a 68 es considera per sobre de la mitjana de la indústria.

Think-Aloud Protocol: tècnica qualitativa d'UX en què la persona usuària verbalitza en veu alta els seus pensaments mentre interactua amb el sistema. Permet capturar processos cognitius que els qüestionaris no detecten.

UEQ: User Experience Questionnaire (Laugwitz, Held & Schrepp, 2008); escala més moderna i breu (26 ítems, 6 dimensions) que complementa el SUS amb dimensions hedòniques (estimulació, novetat) i pragmàtiques.

ZPL: Zebra Programming Language; llenguatge de comandes propietari de les impressores Zebra per generar etiquetes d'enviament.

Continguts

Abstract	2
Keywords	2
Resum	3
Resumen	4
Summary	5
Glossari de termes	6
Termes de gamificació i game design	6
Termes de Location Based Entertainment i Themed Entertainment	7
Termes de logística i picking	8
Termes tècnics i d'avaluació	9
Continguts	10
1. Introducció	18
1.1 Marc teòric	20
1.1.1 Location Based Entertainment (LBE)	20
1.1.2 Themed Entertainment	21
1.1.3 Teories de motivació humana aplicades al treball	21
1.1.4 Frameworks de gamificació	23
1.1.5 Serious Games Canvas (SGC) — Garcia Pañella (2018)	24
1.1.6 Síntesi: el Kalax Framework	25
2. Objectius	26
2.1 Sobre el criteri SMART	26
2.2 Objectiu General	26
2.3 Hipòtesi de treball	26
2.4 Objectius Específics SMART	27
2.4.1 — Anàlisi teòrica	27
2.4.2 — Disseny del sistema Kalax	27
2.4.3 — Disseny de la gamificació	27

2.4.4 — Implementació del prototip	28
2.4.5 — Validació amb usuaris/àries	28
3. Estat de l'art.....	29
3.1 Location Based Entertainment — Casos rellevants	29
3.2 Disseny de jocs aplicat a Kalax.....	34
3.3 Gamificació en contextos laborals.....	35
3.4 Recerca acadèmica sobre gamificació en logística i picking	38
3.5 Sistemes de picking amb feedback visual i put-to-light.....	39
3.6 Marcs acadèmics de gamificació	40
4. Estudi de competència	42
4.1 Competidors directes	42
4.2 Competidors indirectes	42
4.3 Posicionament de Kalax.....	42
4.4 Taula comparativa	43
Solució aportada.....	44
5. Metodologia i eines	50
5.1 Nota de confidencialitat	50
5.2 Metodologia de recerca	50
5.3 Mètodes d'avaluació.....	50
5.3.1 Instruments quantitatius subjectius (escales validades)	50
5.3.2 Instruments qualitatis.....	51
5.3.3 Mètriques objectives	51
5.3.4 Disseny experimental i variables demogràfiques	52
5.4 Eines tecnològiques.....	52
5.4.1 Entorns de desenvolupament.....	52
5.4.2 Eines de gestió i control de versions	55
5.4.3 Resum del stack tecnològic	55
6. Disseny de la solució.....	56
6.1 Disseny operatiu de Kalax: visió de conjunt.....	56

6.2 Arquitectura tècnica i funcionament dels components	57
6.2.1 Visió en capes	57
6.2.2 hermes — lògica de negoci i font de veritat.....	58
6.2.3 gwanlo — l'Amphora Station.....	59
6.2.4 aaxaa — l'aplicació mòbil de picking	60
6.3 Flux operatiu extrem a extrem i comunicació en temps real	60
6.3.1 De la configuració al tancament	61
6.3.2 Assignació dinàmica de slots	61
6.3.3 Feedback put-to-light i comunicació en temps real	62
6.4 Disseny de la capa de gamificació	62
6.4.1 Per què cal gamificar: justificació del disseny.....	62
6.4.2 Aplicació del Serious Games Canvas a Kalax.....	64
6.4.3 Les cinc mecàniques de gamificació de Kalax.....	67
7. Desenvolupament.....	71
7.1 Per què Scrum: justificació metodològica	71
7.2 Gestió operativa: Jira, Git i ritme	71
7.3 Estructura en sprints	72
Sprint 1 — Recerca, marc teòric i estat de l'art (setmanes 1-2)	72
Sprint 2 — Definició de milestones i disseny del sistema (setmanes 3-4).....	72
Sprint 3 — Infraestructura backend i base de dades (setmanes 5-6).....	73
Sprint 4 — Aplicació mòbil de picking (setmanes 7-8)	73
Sprint 5 — Amphora Station: flux digital de printing i packing (setmanes 9-10).....	73
Sprint 6 — Sistema de LEDs i feedback físic (setmanes 11-12)	73
Sprint 7 — Capa de gamificació: progressió i feedback (setmanes 13-14).....	74
Sprint 8 — Capa social, desafiament adaptatiu i onboarding (setmanes 15-16).....	74
Sprint 9 — Integració, tests i preparació de la validació (setmanes 17-18).....	74
8. Resultats	76
Caracterització de la mostra	76
8.1 Eficiència operativa i precisió	78

8.2 Usabilitat i càrrega de treball percebudes	78
8.3 Experiència d'usuari i satisfacció de necessitats psicològiques	80
8.4 Evidència qualitativa	81
8.5 Contrast d'hipòtesis i lectura integrada.....	82
9. Conclusions.....	84
9.1. Resolució de les hipòtesis	84
H1 — Reducció del temps per ordre	84
H2 — Reducció de la taxa d'error	84
H3 — Increment de la usabilitat percebuda (SUS)	85
H4 — Reducció de la càrrega de treball (NASA-TLX)	85
H5 — Satisfacció de les necessitats psicològiques bàsiques (PENS)	85
H6 — Preferència qualitativa per Kalax amb gamificació	86
Síntesi del matís central.....	86
9.2. Grau d'assoliment dels objectius	87
9.3. Lliçons apreses.....	88
9.4. Contribució al coneixement.....	89
Contribució acadèmica	89
Contribució pràctica	89
10. Línies de futur.....	90
10.1. Mesura longitudinal.....	90
10.2. Extensió a altres processos de magatzem	90
10.3. Estudi de moderadors individuals	90
10.4. Investigació sobre l'ètica de la gamificació laboral	90
10.5. Open-sourcing parcial del framework	91
10.6. Narrativa temàtica i theming de l'experiència.....	91
Bibliografia.....	92
Annex 1 — Serious Games Canvas de Kalax (versió estesa)	98
Bloc 1 — Impact (impacte intencionat)	98
Bloc 2 — Players (audiència)	98

Bloc 3 — Context (entorn d'ús)	99
Bloc 4 — Learning Objectives / Behavioural Change Goals	99
Bloc 5 — Mechanics (mecàniques).....	100
Bloc 6 — Dynamics (dinàmiques emergents)	100
Bloc 7 — Aesthetics (estètiques i emocions).....	100
Bloc 8 — Technology (tecnologia).....	101
Bloc 9 — Evaluation (avaluació)	101
Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada del sistema Kalax: hermes, gwanlo i aaxaa	102
A2.1 hermes — Capa de lògica de negoci sobre AWS Lambda	103
A2.1.1 Llenguatge, descripció i objectiu del repositori.....	103
A2.1.2 Funcions Lambda específiques de Kalax.....	103
A2.1.3 Model de dades a DynamoDB	105
A2.1.4 Capa d'APIs internes.....	108
A2.1.5 Algoritmes de ruta i agrupació	109
A2.1.6 Esdeveniments asíncrons i SQS	109
A2.2 gwanlo — Amphora Station sobre Raspberry Pi	110
A2.2.1 Llenguatge, descripció i objectiu del repositori.....	110
A2.2.2 Estructura de subprojectes	110
A2.2.3 Frontend Vue: KalaxJobController i KalaxShippingCard	111
A2.2.4 Backend Flask: scanner, GPIO i impressió	112
A2.2.5 Hardware perifèric: LEDs NeoPixel, WS2811 i Zebra.....	112
A2.2.6 Sistema operatiu, desplegament i actualització	113
A2.3 aaxaa — Aplicació mòbil React Native	113
A2.3.1 Llenguatge, descripció i objectiu del repositori.....	113
A2.3.2 Flux de picking mòbil per a Kalax.....	114
A2.3.3 Pantalles de Tools per a la gestió de la graella	114
A2.3.4 Integració via Socket.IO i navegació socket-driven	115
A2.4 Diagrama d'integració tri-repositori	115
A2.5 Figures i captures proposades per a la memòria definitiva.....	117

Annex 3 — Instruments d'avaluació i dades de la campanya de validació	119
1. Introducció i objecte del document	119
2. Marc metodològic de la validació	120
2.1 Disseny experimental	120
2.2 Bateria d'instruments i triangulació.....	120
2.3 Conceptes del marc teòric que es validen	121
2.4 Hipòtesis a validar.....	121
2.5 Pla d'anàlisi	122
3. Caracterització de la mostra	122
4. Instrument 1 — System Usability Scale (SUS).....	123
1. Introducció a l'instrument i adaptació a Kalax.....	123
2. Els deu ítems del SUS (versió en català)	124
3. Respostes ítem a ítem per condició.....	125
4. Taula resum: SUS mitjà per condició	126
5. Interpretació i validació de la hipòtesi H3	127
5. Instrument 2 — NASA Task Load Index (NASA-TLX)	128
2.1. Introducció a l'instrument i justificació per a Kalax	128
2.2. Les sis dimensions del NASA-TLX	129
2.3. Puntuacions per dimensió i condició.....	129
2.4. Taula resum: RAW-TLX global i perfil dimensional per condició.....	131
2.5. Interpretació i validació de la hipòtesi H4	131
2.6. Lectura complementària: ponderació de fonts (opcional)	133
6. Instrument 3 — User Experience Questionnaire (UEQ)	133
1. Introducció a l'instrument	133
2. Els 26 ítems agrupats per escala (parells de paraules)	134
3. Mitjanes per escala i operari per condició.....	135
4. Taula resum: mitjanes per escala, meta-dimensions i benchmark.....	136
5. Interpretació.....	138
7. Instrument 4 — Player Experience of Need Satisfaction (PENS)	139

1. Introducció: el PENS, la seva arrel en la Self-Determination Theory i la seva alineació amb Kalax	139
2. Ítems de l'instrument adaptats a Kalax.....	140
3. Mitjanes per subescala i operari, per condició	141
4. Taula resum: mitjanes per subescala i condició	142
5. Interpretació i validació de la hipòtesi H5	142
8. Instruments qualitius i mètriques objectives	144
Bloc A — Think-Aloud Protocol (Ericsson i Simon, 1993)	144
Bloc B — Matriu de feedback estructurat	149
Bloc C — Mètriques objectives.....	151
9. Entrevistes semi-estructurades (transcripcions)	154
Nota metodològica	154
Guió comú — 18 preguntes (P1–P18)	154
Entrevista 1 — OP06 Laia F.....	155
Entrevista 2 — OP03 Jordi P.	160
Entrevista 3 — OP04 Aina M.	165
10. Síntesi de la validació i contrast d'hipòtesis.....	169
10.1 Quadre resum de la triangulació	170
10.2 Contrast d'hipòtesis.....	170
10.3 El matís central: eficiència estructural vs valor de la gamificació.....	171
10.4 Connexió amb el marc teòric.....	171
10.5 Limitacions.....	172
10.6 Conclusió de la validació.....	172
Annex 4 — Disseny visual de la capa de gamificació	173
A4.1 El perfil de l'operari/ària i el sistema de progressió	173
A4.2 Kalax en viu: la sessió gamificada a l'Amphora Station	177
A4.3 Pantalles complementàries del dossier de disseny	181
Índex de figures i taules.....	182
Figures	182

Taules	184
--------------	-----

1.Introducció

El comerç electrònic ha experimentat un creixement sense precedents durant l'última dècada, fet que ha transformat radicalment les expectatives de les persones consumidores i, per extensió, els requeriments operatius de tota la cadena logística. Segons l'informe d'Statista (2024), el volum global de vendes B2C en línia ha passat d'1,3 bilions de dòlars el 2014 a més de 6,3 bilions el 2024, fet que multiplica per cinc la pressió sobre els magatzems de *fulfillment*. Aquests s'han convertit en nodes crítics on la velocitat, la precisió i la capacitat de gestionar un volum creixent de comandes petites i variades determinen directament la competitivitat de les empreses.

El picking concentra, segons l'estudi de referència de Tompkins, White, Bozer i Tanchoco (2010), entre el 55% i el 65% del cost operatiu i del temps de manipulació en un magatzem. El mètode tradicional 1x1, basat en el processament seqüencial d'una única comanda cada vegada, presenta limitacions estructurals quan el volum és alt i la composició de les comandes és heterogènia: l'operari/ària realitza múltiples cicles complets de recollida i empaquetat per processar el mateix volum que un sistema paral·lel gestionaria en una única passada. Aquesta ineficiència es tradueix en costos operatius superiors, temps de processament més llargs i menor capacitat de resposta davant pics de demanda.

L'optimització operativa del picking, però, representa només una de les dimensions del problema. La dimensió humana és igualment rellevant i sovint menys visible: el treball de magatzem és per naturalesa físic, repetitiu i cognitivament exigent, una combinació que la literatura acadèmica associa de manera consistent amb nivells baixos de motivació intrínseca, taxes d'error elevades i una rotació de personal alta. Des de la perspectiva de la Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985), les tasques altament repetitives i prescrites frustren les tres necessitats psicològiques bàsiques —autonomia, competència i relació social— necessàries per sostenir la motivació intrínseca; quan aquestes necessitats no estan cobertes, la motivació dels treballadors/ores tendeix a ser exclusivament extrínseca i, per tant, fràgil davant de qualsevol variació en les condicions laborals. Paral·lelament, la recerca sobre atenció sostinguda documenta que les tasques monòtones i repetitives produeixen un deteriorament progressiu de la vigilància cognitiva —el *vigilance decrement*— que es manifesta en un increment de la taxa d'errors i en un alentiment de la capacitat de resposta (Warm et al., 2008, citat a Parasuraman et al., 2011). Finalment, la combinació de motivació baixa i càrrega física i cognitiva alta s'associa a la intenció d'abandonar l'organització (Winkelhaus et al., 2022), fet que pot explicar estructuralment les taxes de rotació elevades que caracteritzen el sector.

Segons les dades de la European Logistics Association (2023) i de l'informe sectorial de Manhattan Associates (2024), la rotació anual al sector logístic europeu se situa entre el 35% i el 50%, una de les xifres més altes de qualsevol indústria, associada a costos de reclutament, formació i pèrdua de productivitat estimats en més de 8.000 € per treballador/a substituït/da. Dissenyar processos més

eficients sense adreçar l'experiència de la persona treballadora és, per tant, una solució estructuralment incompleta.

Aquest TFG proposa abordar simultàniament ambdues dimensions. D'una banda, es dissenya Kalax — terme que designa tant el mètode com el framework complet, incloent-hi la capa de gamificació—. Kalax és un nou mètode de *multi-order picking* i *packing* que substitueix el flux *single-order* tradicional i permet processar múltiples comandes en paral·lel mitjançant una graella física completament configurable, on el nombre de graelles actives s'adapta a l'espai disponible, la capacitat d'infraestructura i els criteris de cada magatzem. De l'altra, sobre aquesta base operativa s'aplica una capa de gamificació i Location Based Entertainment (LBE) dissenyada per transformar l'experiència subjectiva de la persona treballadora: convertir una tasca repetitiva en una activitat que generi *flow*, motivació intrínseca i sentiment de progressió. Aquesta definició inicial es desenvolupa amb detall tècnic al capítol de desenvolupament sobre la solució aportada.

El LBE, disciplina nascuda en el disseny de parcs temàtics i experiències immersives, aporta eines conceptuals per dissenyar entorns que capten la persona usuària a través de la narrativa, la retroalimentació multisensorial i la progressió estructurada. La gamificació, definida acadèmicament per Deterding et al. (2011) com l'ús d'elements de disseny de jocs en contextos no lúdics, proporciona els mecanismes concrets que tradueixen aquests principis en interaccions quotidianes. La combinació d'ambdós enfocaments en un context de treball manual físic constitueix la contribució acadèmica original d'aquest TFG.

La literatura existent sobre gamificació corporativa se centra predominantment en entorns d'oficina, plataformes de formació en línia i sistemes de gestió de vendes; la seva aplicació a treball manual repetitiu amb principis d'immersió espacial propis del LBE és un àmbit poc explorat (Warmelink et al., 2020). Aquest *gap* justifica tant la rellevància acadèmica de la recerca com la necessitat d'un marc teòric propi —el Kalax Framework— que integri de forma coherent els principis del LBE, el Themed Entertainment, els principals frameworks de gamificació i el Serious Games Canvas de Garcia Pañella (2018) en un model aplicable a contextos logístics.

La recerca que segueix es guia, des d'aquest punt de partida, per una hipòtesi de treball verificable: que la combinació d'un mètode multi-order estructuralment eficient amb una capa de gamificació centrada en la persona produeix millores mesurables tant en els indicadors operatius com en l'experiència subjectiva de qui treballa. Aquesta hipòtesi general es desglossa en sis subhipòtesis empíriques que travessen tota la memòria: H1 (reducció del temps per ordre) i H2 (reducció de la taxa d'error), atribuïbles a l'estructura multi-order del mètode; H3 (millora de la usabilitat percebuda, SUS), H4 (reducció de la càrrega de treball percebuda, NASA-TLX) i H5 (increment de la satisfacció de les necessitats psicològiques bàsiques, PENS), atribuïbles a la capa de gamificació; i H6 (preferència

qualitativa de les persones operàries per la versió gamificada). La formulació completa es presenta al capítol 2 (apartat 2.3), el protocol de validació al capítol 5 i el contrast empíric als capítols 8 i 9.

1.1 Marc teòric

El marc teòric d'aquest TFG s'articula al voltant de cinc grans àmbits conceptuals que coinflueixen en el disseny de Kalax: el Location Based Entertainment, el Themed Entertainment, les teories de motivació humana aplicades al treball, els frameworks de gamificació i el Serious Games Canvas. Aquesta secció presenta cada àmbit en detall abans d'explicar com s'integren en la síntesi final.

1.1.1 Location Based Entertainment (LBE)

El Location Based Entertainment es defineix, segons Ford (2022), com el conjunt d'experiències d'entreteniment que ocorren en ubicacions físiques específiques, dissenyades per ser consumides *in situ*. A diferència del consum d'entreteniment domèstic —un videojoc, una pel·lícula o un servei de *streaming*—, l'experiència LBE no es pot separar del lloc on succeeix: l'espai forma part inseparable del producte. La indústria global del LBE ha generat, segons el TEA/AECOM Theme Index (2023), un volum de mercat superior als 50.000 milions de dòlars anuals, amb un creixement estimat al voltant del 5% CAGR fins al 2030.

La distinció conceptual entre LBE i entreteniment domèstic descansa en el concepte de presència (*presence*), definit per Witmer i Singer (1998) com "l'experiència subjectiva d'estar en un lloc o entorn, fins i tot quan la persona es troba físicament situada en un altre". En un entorn LBE, la presència no és mediada per tecnologia sinó per la configuració intencional de l'espai físic —arquitectura, estímuls sensorials, dinàmiques socials i estructura de la tasca— que en conjunt produeix el que la literatura anomena immersió ambiental: l'estat en què l'entorn dissenyat es converteix en la realitat dominant per a la persona participant (Witmer & Singer, 1998). Kalax aplica directament aquest principi al magatzem: la graella física, els LEDs i l'ambient sonor no són decoració, sinó el mecanisme que converteix el lloc de treball en un entorn amb presència dissenyada.

Sobre la base d'aquesta definició, Ford (2022) identifica les dimensions estructurals que caracteritzen una experiència LBE: (i) presencialitat física, és a dir, la persona usuària ha d'estar corporalment al lloc; (ii) espai dissenyat amb intencionalitat narrativa, sensorial i funcional; (iii) temporalitat de la sessió, l'experiència té un principi i un final definits; (iv) interacció tangible amb objectes, no únicament digital; i (v) potencial de comunalitat, l'experiència sovint és viscuda amb altres persones i és recordada socialment. Kalax compleix les cinc dimensions: l'operari/ària ha de ser al magatzem, l'espai s'ha dissenyat intencionadament (graella, LEDs, ambient sonor), cada sessió té un cicle clar, la interacció amb la graella és tangible i el flux cooperatiu *printer/packer* és inherentment social.

1.1.2 Themed Entertainment

El Themed Entertainment és la pràctica de disseny d'entorns d'oci on tots els elements convergeixen en una temàtica coherent. La seva codificació professional comença amb la fundació de la Walt Disney Imagineering (1952), responsable del disseny dels parcs Disney, i s'ha articulad acadèmicament en les darreres dues dècades a través de l'obra de Younger (2016) i les publicacions periòdiques de la Themed Entertainment Association (TEA).

El fonament econòmic del Themed Entertainment s'articula sobre la teoria de l'economia de l'experiència de Pine i Gilmore (1998), que proposa que el valor econòmic ha evolucionat des de les matèries primeres fins als serveis, i que el nivell superior de valor és l'experiència: una oferta personal, memorable i impossible de reproduir exactament. Pine i Gilmore (1998) descriuen quatre dimensions que estructuren qualsevol experiència rica: entreteniment (absorció passiva), educació (participació activa i absorció), escapisme (participació activa i immersió) i estètica (immersió passiva). Les experiències més potents —Disney World n'és el cas paradigmàtic— combinen les quatre dimensions simultàniament. Kalax opera principalment en les dimensions d'escapisme (la persona operària participa activament i s'immergeix en el flux de treball gamificat) i entreteniment (el feedback audiovisual i la progressió visible aporten absorció).

Els principis del Themed Entertainment rellevants per a Kalax són tres. El primer és el *storyliving* (Pine & Gilmore, 2011): l'evolució del *storytelling* on la persona no només escolta la història sinó que la viu activament dins d'un espai dissenyat. La distinció és cabdal: en el *storytelling* convencional la persona és receptora passiva; en el *storyliving* és agent causal de la narració, i les seves accions tenen conseqüències dins del món dissenyat. El segon és l'*environmental storytelling* (Jenkins, 2004), on la narrativa es transmet a través de l'arquitectura, la il·luminació, els objectes i el so, sense necessitat de diàleg explícit. Jenkins (2004) argumenta que els dissenyadors d'espais "no expliquen històries; dissenyen mons i esculpeixen espais" —la narració emergeix de la interacció entre la persona i l'entorn—. El tercer és la coherència temàtica: cada element de l'espai reforça la temàtica global, des de la senyalització fins als uniformes del personal. Aplicat al magatzem, aquests tres principis es tradueixen en la capa de *theming* opcional que es proposa com a línia de futur de Kalax (capítol 10); el prototip actual es limita deliberadament a una identitat visual sòbria per no comprometre l'atenció operativa.

1.1.3 Teories de motivació humana aplicades al treball

Per dissenyar una capa de gamificació que generi motivació intrínseca sostinguda —i no *compliance* efímera— cal partir d'un model robust del que mou les persones a actuar. Tres teories articulen el marc psicològic d'aquest TFG.

Self-Determination Theory (SDT) — Deci i Ryan (1985). La SDT és, segons la meta-anàlisi de Howard, Gagné i Bureau (2017), una de les teories de motivació amb major suport empíric a la psicologia contemporània. Postula que tot ésser humà té tres necessitats psicològiques bàsiques universals: autonomia (sensació de tenir control sobre les pròpies accions), competència (sensació d'eficàcia i progrés) i relació (sensació de connexió amb altres persones). Quan una activitat satisfà aquestes tres necessitats, tendeix a generar motivació intrínseca; quan les frustra, genera amotivació o motivació purament externa, més fràgil i menys sostenible. La SDT és especialment rellevant per al context logístic perquè el treball repetitiu prescrit frustra estructuralment les tres necessitats: l'autonomia és mínima (la tasca és predeterminada), la sensació de competència és difícil de percebre en tasques sense feedback visible i la relació sovint s'absenta en entorns d'alta pressió temporal. Kalax adreça explícitament les tres: autonomia mitjançant la capa *opt-in* i el control del ritme propi; competència mitjançant el sistema de nivells, XP i feedback en temps real; i relació mitjançant la cooperació *printer/packer* i els elements socials *opt-in*. Cada mecànica de Kalax es justifica en relació amb almenys una d'aquestes tres necessitats.

Flow Theory — Csikszentmihalyi (1990); Nakamura i Csikszentmihalyi (2002). El concepte de *flow* descriu l'estat psicològic d'absorció òptima en una activitat, caracteritzat per sis components principals: concentració intensa en la tasca, fusió entre acció i consciència, pèrdua de l'autoconsciència, sensació de control, distorsió de la percepció del temps i experiència autotèlica —és a dir, l'activitat és recompensant en si mateixa, independentment del resultat extern (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2002)—. El *flow* sorgeix quan el repte de la tasca està equilibrat amb les habilitats de la persona: si el repte excedeix les habilitats es genera ansietat; si les habilitats excedeixen el repte, avoriment. Aquesta relació dinàmica entre repte i habilitat és el mecanisme que el disseny de Kalax pretén optimitzar al llarg de la jornada laboral i de la trajectòria de cada operari/ària. Nakamura i Csikszentmihalyi (2002) identifiquen, a més, tres condicions proximals per a l'aparició del *flow*: objectius clars, feedback immediat i equilibri repte-habilitat. Kalax genera objectius clars (cada comanda té un destí LED específic), feedback immediat (confirmació sonora i visual en temps real) i gestiona l'equilibri a través del sistema de desafiament adaptatiu (capítol 6).

Fogg Behavior Model — Fogg (2009). Aquest model descriu el comportament humà com el resultat de la convergència simultània de tres factors: motivació (M), capacitat (C) i *trigger* (T), formalitzat com $B = M \cdot C \cdot T$. El comportament es produeix quan la combinació de motivació i capacitat supera el llindar d'activació en el moment en què apareix el *trigger*; si qualsevol dels tres elements és insuficient, el comportament no es produeix (Fogg, 2009). La utilitat diagnòstica del model és especialment rellevant en contextos de treball: si la motivació és alta però l'acció no es produeix de manera consistent, la causa probable és un dèficit de capacitat (la tasca és massa complexa o la interfície és confusa) o de *trigger* (no hi ha cap estímul que iniciï l'acció en el moment adequat). En el context de Kalax, els LEDs i els sons funcionen com a *triggers* consistents i de baixa ambigüitat, la interfície digital simplifica la capacitat

reduint la càrrega cognitiva de la decisió "on va aquest producte?", i la capa de gamificació adreça la motivació. El model és, per tant, una eina de diagnòstic retroactiu: permet identificar per quin dels tres vectors falla un disseny quan els resultats no s'assoleixen.

1.1.4 Frameworks de gamificació

La gamificació, definida per Deterding et al. (2011) com l'ús d'elements de disseny de jocs en contextos no lúdics, ha generat un cos de recerca empírica creixent. La revisió sistemàtica de Hamari, Koivisto i Sarsa (2014), que analitza 24 estudis empírics sobre gamificació, conclou que els sistemes gamificats produeixen efectes positius en motivació i engagement, però que l'efectivitat depèn críticament del context d'implementació i del perfil de la persona usuària. Aquesta condicionalitat és el punt de partida per al disseny de Kalax: no existeix un sistema de gamificació universalment eficaç, sinó mecàniques específiques que tendeixen a funcionar per a tipologies concretes d'usuari/ària en contextos específics. Quatre frameworks proporcionen les eines operatives per traduir teoria a disseny.

Octalysis — Chou (2015). Identifica vuit *core drives* que motiven el comportament humà, organitzats en dos eixos: *drives* intrínsecs (significat èpic, empoderament, relació social, propietat) enfront d'extrínsecs (escassetat, evitació, imprevisibilitat, compliment); i *drives* del "cervell esquerre" (predictibles, orientats a objectius) enfront del "cervell dret" (creatius, socials, imprevisibles). La distinció és crítica en disseny laboral: els *drives* basats en escassetat i evitació produeixen motivació extrínseca a curt termini però s'associen a estrès, *burnout* i percepció de coerció quan s'apliquen en entorns de treball (Chou, 2015). Kalax activa explícitament empoderament (competència, progressió), influència social (capa cooperativa i *opt-in* social), propietat (perfil persistent de l'operari/ària) i compliment (XP, nivells), i evita conscientment l'ús de *drives* basats en escassetat i evitació.

MDA Framework — Hunicke, LeBlanc i Zubek (2004). Estructura el disseny en tres capes: *Mechanics* (regles del sistema), *Dynamics* (comportaments emergents que sorgeixen quan els usuaris/àries interactuen amb les mecàniques al llarg del temps) i *Aesthetics* (resposta emocional que l'experiència genera en la persona). La contribució conceptual central del MDA és la inversió de perspectiva: el/la dissenyador/a treballa de les mecàniques cap a l'estètica, però la persona usuària ho experimenta en sentit invers, de l'estètica cap a les mecàniques. Aquesta asimetria implica que el/la dissenyador/a mai no pot prescriure directament una experiència emocional —"sentiment de progrés", "orgull d'acompliment"— sinó únicament definir mecàniques que, en condicions adequades, la produeixin. La capa de *Dynamics* és especialment important perquè és on emergeixen comportaments no previstos: la competició espontània entre operaris/àries, la cooperació informal o el desenvolupament de rituals de treball que poden amplificar l'efecte de les mecàniques dissenyades.

Hexad — Marczewski (2015). Identifica sis tipologies d'usuari/ària en sistemes gamificats, cadascuna amb una motivació primària diferent: el *Philanthropist* (motivats per donar i ajudar), el *Socialiser* (motivats per la connexió interpersonal), el *Free Spirit* (motivats per l'autonomia i l'exploració), l'*Achiever* (motivats

per dominar i progressar), el *Player* (motivat per les recompenses del sistema) i el *Disruptor* (motivat per canviar o desafiar el sistema). La rellevància del Hexad per a Kalax és doble. En primer lloc, justifica la diversificació de mecàniques: un sistema exclusivament basat en *leaderboards* i punts satisfà l'*Achiever* i el *Player* però pot alienar el *Free Spirit* i el *Philanthropist*. En segon lloc, justifica l'estratègia *opt-in*: permetre que cada persona operària configuri el seu propi nivell d'exposició als elements socials i competitius respecta la diversitat motivacional documentada pel Hexad i evita el rebuig actiu que Bloodworth (2018) documenta en el cas Amazon.

Framework de Morschheuser et al. (2018). Proposa un procés iteratiu de set fases per al disseny de sistemes gamificats en context empresarial: *project preparation, analysis, ideation, design, implementation, evaluation* i *monitoring*. La seva contribució metodològica és la formalització de la iteració com a requisit estructural del disseny gamificat: cap sistema no funciona òptimament en la primera versió, perquè les *Dynamics* del MDA emergeixen de forma imprevisible de les *Mechanics*. El desenvolupament de Kalax segueix aquest procés, amb una fase de validació (capítol 5) concebuda explícitament com a iteració d'*evaluation* i *monitoring* del cicle de Morschheuser et al. (2018).

1.1.5 Serious Games Canvas (SGC) — Garcia Pañella (2018)

Si l'Octalysis és potent per generar idees i el MDA per estructurar capes, el Serious Games Canvas (Garcia Pañella, 2018) és l'eina que articula tots aquests components en un únic document visual coherent. Inspirat estructuralment en el Business Model Canvas d'Osterwalder, el SGC adapta la lògica de blocs interconnectats al context específic del disseny de jocs seriosos i experiències gamificades. La seva utilitat principal no és descriptiva sinó generativa: en completar cada bloc, el/la dissenyador/a es veu forçat/ada a explicitar les hipòtesis implícites del sistema i a verificar la coherència interna entre objectius, audiència, mecàniques i mètriques. Un sistema pot tenir mecàniques ben dissenyades però objectius mal definits, o mètriques que no mesuren el que les mecàniques pretenen produir; el canvas fa visibles aquestes incoherències. El canvas s'organitza en nou blocs principals.

L'**objectiu** (per què es gamifica) defineix quin canvi de comportament, aprenentatge o resultat operatiu busca el sistema. L'**audiència** (per a qui) estableix el perfil de la persona usuària, incloent-hi tipologies Hexad si escau. El **context** (on i quan) descriu l'entorn físic, temporal i organitzatiu en què es desplega l'experiència. Les **mecàniques** (què es fa) són les accions concretes que la persona usuària executa al sistema. Les **dinàmiques** (com es comporta el sistema) són els patrons emergents que sorgeixen quan les mecàniques s'apliquen al llarg del temps. Les **estètiques i narrativa** (com se sent) constitueixen la capa emocional, simbòlica i narrativa de l'experiència. Els **components tecnològics** (amb què) corresponen al *stack* tècnic, *hardware* i *software* que suporta l'experiència. Les **mètriques** (com es mesura) són els indicadors quantitatius i qualitatius per validar l'efectivitat. Finalment, els **resultats esperats i riscos** (què passa si) recullen les hipòtesis sobre el comportament esperat i les contingències.

El SGC s'utilitza com a marc estructurador del disseny de la capa de gamificació de Kalax (capítol 6) i com a eina d'avaluació de la coherència interna del sistema. La versió completa del canvas aplicat a Kalax es presenta a l'Annex 1.

1.1.6 Síntesi: el Kalax Framework

Els cinc àmbits anteriors no operen de manera aïllada en el disseny de Kalax, sinó que s'articulen en una arquitectura conceptual coherent. El LBE i el Themed Entertainment aporten el *com* de l'entorn —la presència dissenyada, el *storyliving* i la coherència temàtica que converteixen el magatzem en un espai amb significat—; les teories de motivació (SDT, Flow i Fogg) aporten el *per què* psicològic —quines necessitats cal satisfer, quin estat experiencial cal induir i quins factors han de convergir perquè el comportament desitjat es produeixi—; els frameworks de gamificació (Octalysis, MDA, Hexad i Morschheuser et al.) aporten el *què* operatiu —les mecàniques concretes, la seva traducció en dinàmiques i estètiques, i l'ajust a la diversitat motivacional—; i el Serious Games Canvas aporta l'*estructura* que integra tots aquests components en un disseny verificable i coherent.

La integració d'aquests cinc àmbits es materialitza en el Kalax Framework, definit com el conjunt articulat de: (a) un mètode operatiu nativament eficient —*multi-order picking* amb feedback *put-to-light*—; (b) una arquitectura tècnica modular implementable amb *hardware* industrial estàndard; i (c) una capa de gamificació i LBE dissenyada des de la SDT, la Flow Theory i el SGC, *opt-in*, no punitiva i centrada en la motivació intrínseca sostinguda. La hipòtesi del TFG és que aquesta integració produeix millores mesurables i estadísticament significatives en *engagement*, precisió i temps per ordre respecte al mètode 1x1 actual, hipòtesi que es contrasta empíricament al capítol de resultats.

2. Objectius

Els objectius d'aquest TFG s'articulen en un objectiu general i cinc objectius específics formulats segons el criteri SMART. Tots els objectius defineixen conjuntament l'entregable final i constitueixen la base d'avaluació del treball.

2.1 Sobre el criteri SMART

L'acrònim SMART, popularitzat per Doran (1981) i àmpliament adoptat com a estàndard en la gestió de projectes acadèmics i empresarials, estructura la formulació d'objectius en cinc dimensions:

Specific (específic): l'objectiu descriu de manera inequívoca què s'ha de fer, sense ambigüitats interpretatives.

Measurable (mesurable): defineix indicadors quantitius o qualitius que permeten determinar-ne l'acompliment.

Achievable (assolible): és realista dins dels recursos, el temps i les competències disponibles.

Relevant (rellevant): contribueix directament a l'objectiu general del projecte i té un valor identificable.

Time-bound (temporitzat): té una data límit explícita per al seu lliurament i avaluació.

Cada objectiu específic d'aquest TFG es desplega segons aquest criteri amb una entrada per a cada dimensió.

2.2 Objectiu General

Dissenyar i validar el Kalax Framework: un sistema integral de *multi-order picking* i *packing* amb una capa de gamificació basada en els principis de LBE i en el Serious Games Canvas, amb la finalitat de comprovar si l'aplicació d'experiències immersives i mecàniques lúdiques al treball manual repetitiu en logística d'e-commerce millora simultàniament l'*engagement* de les persones operàries, la precisió operativa i el rendiment de l'operació.

2.3 Hipòtesi de treball

La hipòtesi principal és que un sistema de picking que combina un mètode *multi-order* estructuralment eficient (Kalax) amb una capa de gamificació dissenyada a partir del SGC, la Flow Theory i la Self-Determination Theory produeix millores mesurables en el temps per ordre, la taxa d'errors, la usabilitat, la càrrega de treball percebuda, la satisfacció de necessitats psicològiques i l'experiència de les persones operàries, en comparació amb el mètode de picking *single-order* (1x1) actual. Aquesta hipòtesi general es desglossa en sis subhipòtesis empíriques (H1–H6), contrastades al capítol de resultats: H1 i H2 atribueixen a l'estructura *multi-order* de Kalax la reducció del temps per ordre i de la taxa d'error

respecte al picking 1x1; H3, H4 i H5 atribueixen a la capa de gamificació la millora de la usabilitat (SUS), la reducció de la càrrega de treball (NASA-TLX) i l'increment de la satisfacció de necessitats SDT (PENS) respecte a Kalax base; i H6 recull la preferència qualitativa per la versió gamificada a les entrevistes.

2.4 Objectius Específics SMART

2.4.1 — Anàlisi teòrica

Elaborar un marc teòric que integri *Location Based Entertainment*, *Themed Entertainment*, gamificació i el Serious Games Canvas aplicable a contextos logístics de magatzem, a partir d'una revisió sistemàtica de la literatura acadèmica i professional.

Específic: marc teòric integrador de cinc àmbits sobre un cos significatiu de referències.

Mesurable: nombre de referències documentades i capítol completat amb anàlisi crítica.

Assolible: sí, mitjançant recerca acadèmica sistemàtica i accés a bases de dades acadèmiques.

Rellevant: fonamenta la resta del TFG i constitueix la primera contribució acadèmica.

Temporal: data límit 16/04/2026.

2.4.2 — Disseny del sistema Kalax

Dissenyar el mètode Kalax de *multi-order picking* i *packing*, que inclogui el flux complet (picking i packing), el sistema de LEDs per slot i el model cooperatiu *printer/packer*, validat amb experts/ertes operatius/ives d'Amphora Logistics i lliurat com a capítol de disseny abans del 30 d'abril de 2026.

Específic: mètode complet documentat amb flux, maquinari i rols.

Mesurable: validació per part d'experts/ertes operatius/ives del magatzem mitjançant entrevistes estructurades.

Assolible: sí, amb context real a Amphora disponible i accés directe.

Rellevant: contribució operativa principal del TFG.

Temporal: MVP a finals d'abril de 2026.

2.4.3 — Disseny de la gamificació

Dissenyar un sistema de gamificació per a Kalax que incorpori un mínim de cinc mecàniques de joc (progrèssió, feedback, social, desafiament i onboarding), basat en el marc teòric de LBE i gamificació i estructurat segons el Serious Games Canvas, validat amb experts/ertes en UX i lliurat com a capítol de disseny de la solució abans del 30 de maig de 2026.

Específic: cinc mecàniques concretes documentades i justificades teòricament, i canvas SGC complet.

Mesurable: validació per part d'experts/ertes interns/ernes en UX, testeig de flux i documentació del feedback.

Assolible: sí, amb prototipatge iteratiu i accés a experts/ertes dins del context Amphora.

Rellevant: contribució experiencial principal del TFG.

Temporal: MVP a finals de maig de 2026.

2.4.4 — Implementació del prototip

Implementar un prototip funcional del sistema Kalax amb la capa de gamificació integrada, que demostrï les mecàniques principals en l'entorn real d'Amphora mitjançant l'Amphora Station (Vue.js 3 sobre Raspberry Pi), lliurat com a demo funcional operativa abans del 6 de juny de 2026.

Específic: prototip funcional integrat amb la infraestructura real.

Mesurable: demo operativa a l'Amphora Station amb el flux Kalax complet executable.

Assolible: sí, amb l'stack tecnològic ja establert a Amphora.

Rellevant: prova de concepte tècnica imprescindible per a la validació empírica.

Temporal: MVP del prototip amb ambdues capes la primera setmana de juny (06/06/2026).

2.4.5 — Validació amb usuaris/àries

Conduir tests d'usuari/ària amb un mínim de deu operaris/àries de magatzem d'Amphora Logistics per avaluar l'experiència del sistema Kalax amb gamificació, mesurant la satisfacció (SUS), la càrrega de treball percebuda (NASA-TLX), l'experiència d'usuari/ària (UEQ), la satisfacció de necessitats SDT (PENS), el feedback qualitatiu (Think-Aloud Protocol i entrevistes semiestructurades) i les mètriques quantitatives (temps per ordre i taxa d'error), lliurats com a capítol de resultats abans del 12 de juny de 2026.

Específic: tests amb deu operaris/àries reals i sis instruments combinats.

Mesurable: puntuacions SUS, NASA-TLX, UEQ i PENS, indicadors quantitius i corpus qualitatiu transcrit.

Assolible: sí, amb accés a operaris/àries d'Amphora garantit per acord amb l'empresa.

Rellevant: validació empírica de les hipòtesis principals i secundàries.

Temporal: data límit 12/06/2026.

3. Estat de l'art

L'estat de l'art d'aquest treball s'organitza en sis blocs: experiències rellevants de Location Based Entertainment (LBE), disseny de jocs aplicat a Kalax, gamificació en contextos laborals, recerca acadèmica sobre gamificació en logística, sistemes de picking amb feedback visual i marcs acadèmics de gamificació. Per a cada referència s'identifica de manera explícita què s'incorpora al disseny de Kalax i quins aspectes s'han detectat com a febles, deficients o a evitar. L'objectiu no és només documentar la lectura, sinó establir un posicionament crític respecte a cada cas estudiat.

3.1 Location Based Entertainment — Casos rellevants

The Fun Theory — Bottle Bank Arcade (Volkswagen, 2009). Iniciativa de la divisió de màrqueting de Volkswagen que transformà un contenidor de reciclatge de vidre en una màquina arcade urbana situada a Estocolm. El contenidor ofería feedback sonor i visual immediat per a cada ampolla reciclada, amb una pantalla LED que mostrava la puntuació. La documentació de la campanya indica un increment notable de l'ús del contenidor gamificat respecte al contenidor convencional adjacent durant la prova (Volkswagen, 2009).

D'aquest cas s'incorpora el principi fonamental que valida la transformació d'una acció rutinària en una experiència intrínsecament motivadora mitjançant feedback multisensorial en directe. Concretament, s'aplica al moment d'escaneig de productes, on s'ofereix retroacció a través dels feedbacks que es descriuen al capítol de disseny de la solució.

Com a aspectes a evitar o millorar, cal observar que la implementació va ser de curta durada, fet que en limita la mesura de l'impacte a llarg termini, que no es va aplicar cap control rigorós i que les persones participants eren voluntàries i no seleccionades.



Figura 1. Bottle Bank Arcade de The Fun TheoryNota. De The Fun Theory: Bottle Bank Arcade [vídeo], de Volkswagen Group, 2009, YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=zSiHjMU-MUo>). Reproducció amb finalitat acadèmica.

The Fun Theory — Piano Stairs (Volkswagen, 2009). Conversió d'una escala convencional en un teclat de piano funcional a l'estació de metro d'Odenplan, a Estocolm: cada esglaó emetia una nota musical quan es trepitjava. La instal·lació es trobava al costat d'una escala mecànica. Els resultats documentats indiquen que un nombre considerablement superior de persones usuàries triaren l'escala-piano per damunt de l'escala mecànica durant les hores d'observació (Volkswagen, 2009).

D'aquest cas s'incorpora la idea que el feedback sonor lúdic pot fer que una persona esculli una opció físicament més costosa per davant d'una de més còmoda. Això justifica que la sonorització de Kalax pugui incrementar la preferència per la tasca, i no només la productivitat.

Com a aspectes a evitar o millorar, cal assenyalar que la novetat impulsà l'ús inicial, però que la sostenibilitat a llarg termini no es va treballar ni mesurar. D'aquesta limitació en deriva el concepte de *novelty bias*. Per contrarestar-lo, Kalax proposa un feedback sonor variable i una iteració constant del producte que n'asseguri l'impacte positiu sostingut.



Figura 2. Piano Stairs a l'estació d'Odenplan Nota. De *The Fun Theory: Piano Stairs* [vídeo], de Volkswagen Group, 2009, YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=2lXh2n0aPyw>). Reproducció amb finalitat acadèmica.

Pokémon GO (Niantic, 2016). Joc per a dispositius mòbils basat en la realitat geolocalitzada que assolí una base d'usuaris/àries molt àmplia poc després del seu llançament. L'estudi d'Althoff, White i Horvitz (2016) indica que les persones jugadores actives incrementaren la seva activitat física de manera significativa durant les setmanes posteriors a la instal·lació del joc.

D'aquest cas s'incorpora el mecanisme clau de vincular objectius digitals a accions físiques sobre ubicacions específiques. Aquest principi s'aplica directament a la relació entre l'escaneig de producte i el feedback visual dels LED, ja que l'acció física es tradueix en un esdeveniment digital reconeixible.

Com a aspectes a evitar o millorar, cal considerar la dependència del dispositiu mòbil com a interfície i la corba de motivació decreixent, ja que els mateixos autors documenten una caiguda significativa de l'activitat al cap de pocs mesos. Kalax minimitza la dependència del mòbil mitjançant una interfície fixa a l'estació i una motivació basada en l'interès intrínsec, i no en la recompensa col·leccionable.



Figura 3. Pokémon GO: realitat geolocalitzada. Nota. De Pokémon GO [aplicació mòbil], de Niantic, Inc., 2016 (<https://pokemongolive.com/>). Imatges sota llicència oberta disponibles a Wikimedia Commons (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=Pokemon+Go>).

Realitat virtual a atraccions de parcs temàtics (Bafadhal, Hanafiah, Anuar i Lestari, 2025). Estudi empíric sobre atraccions de realitat virtual en parcs temàtics que modela els determinants psicològics de l'actitud i de la intenció de tornada de les persones visitants. Mitjançant un model d'equacions estructurals, els autors demostren que la telepresència —la sensació d'estar realment dins de l'experiència— i l'estat de flow són predictors directes del gaudi, i que aquest gaudi és, al seu torn, el que sosté l'actitud favorable i la voluntat de repetir l'experiència (Bafadhal et al., 2025).

D'aquest cas s'incorpora l'evidència que la telepresència i el flow són variables mesurables que governen l'adhesió a una experiència ancorada en l'espai. Aplicat a Kalax, justifica que el disseny prioritzi mantenir l'operari/ària dins del canal de la fluïdesa de la tasca—mitjançant el desafiament adaptatiu i el feedback multisensorial immediat— per damunt de l'espectacularitat tecnològica, ja que és la fluïdesa, i no la novetat, el que prediu la preferència sostinguda per la tasca.

Com a aspectes a evitar o millorar, cal observar que l'estudi se situa en un context d'oci voluntari, i no en un entorn de treball obligat i repetitiu, i que mesura intencions declarades i no comportament a llarg termini. Kalax adapta el principi a un context laboral, on la motivació no es pot pressuposar, i en valida l'efecte amb mètriques objectives de rendiment.



Figura 4. Telepresència i flow en una atracció de realitat virtual de parc temàtic Nota. De «Psychological drivers of attitude and revisit intentions in virtual reality rides at amusement parks: Telepresence, flow and enjoyment», de A. S. Bafadhal, M. H. Hanafiah, F. I. Anuar i D. K. Lestari, 2025, *Cogent Social Sciences*, 11(1), Article 2556480 (<https://doi.org/10.1080/23311886.2025.2556480>). CC BY 4.0.

Presència i autenticitat en experiències immersives (Choi i Nam, 2024). Recerca publicada a l'*International Journal of Tourism Research* que analitza, en experiències de realitat virtual en museus, quins factors converteixen la immersió en satisfacció real. El resultat central és que la satisfacció no depèn de la novetat tecnològica ni de l'autenticitat objectiva de la rèplica, sinó de la presència — l'autenticitat existencial generada per la sensació d'estar-hi—, i que aquesta presència és la que reté la persona usuària (Choi i Nam, 2024).

D'aquest cas s'incorpora el principi que la presència dissenyada, i no l'efecte novetat, és el factor que sosté l'experiència en el temps. Això valida la decisió de Kalax de concentrar la inversió experiencial en el feedback multisensorial integrat a l'espai físic (LEDs, so, graella) —que genera presència— en lloc d'una capa lúdica espectacular però superficial.

Com a aspectes a evitar o millorar, cal assenyalar que l'estudi observa que la persona usuària tendeix a percebre la RV com un afegit perifèric a l'exposició. Kalax respon a aquesta limitació amb el principi de no-interferència: la capa d'experiència viu dins del flux de treball i no competeix amb la tasca, sinó que l'acompanya.



Figura 5. La presència com a factor de satisfacció en experiències immersives de museu
Nota. De «Do presence and authenticity in VR experience enhance visitor satisfaction and museum re-visitation intentions?», de K. Choi i Y. Nam, 2024, *International Journal of Tourism Research*, 26(4), Article e2737 (<https://doi.org/10.1002/jtr.2737>). CC BY-NC 4.0.

Acceptació de la tecnologia immersiva (Liang, Zhao, Zhang i Lu, 2025). Estudi publicat a *SAGE Open* que aplica el Technology Acceptance Model, ampliat amb la teoria de la memòria cultural, per explicar com l'acceptació d'una tecnologia immersiva es tradueix en actitud i en intenció de comportament reals. Mitjançant PLS-SEM i fsQCA, els autors confirmen que la facilitat d'ús i la utilitat percebudes, juntament amb l'ancoratge cultural de l'experiència, condicionen positivament l'adopció (Liang et al., 2025).

D'aquest cas s'incorpora el marc d'acceptació tecnològica com a eina per anticipar l'adopció de Kalax: una tecnologia immersiva només genera impacte si la persona usuària la percep alhora fàcil d'usar i útil. Això reforça les decisions de Kalax orientades a la facilitat d'ús (onboarding gamificat, controls intuïtius, llegibilitat a distància) com a condició prèvia perquè la capa d'experiència sigui acceptada.

Com a aspectes a evitar o millorar, cal considerar que el model se centra en la intenció d'adopció inicial i en un context cultural i de consum diferent del treball logístic. Kalax el complementa amb una validació real al magatzem i deixa apuntada, com a línia de futur, la mesura repetida de l'acceptació al llarg del temps per controlar l'efecte de novelty bias.

3.2 Disseny de jocs aplicat a Kalax

Overcooked (Ghost Town Games, 2016). Videojoc cooperatiu de dos a quatre jugadors/ores que s'han de coordinar en una cuina caòtica per preparar i servir comandes simultànies sota pressió temporal. Els rols són asimètrics —qui talla, qui cuina, qui serveix— i el resultat és sempre col·lectiu.

D'aquest cas s'incorpora l'estructura cooperativa amb rols asimètrics però objectiu compartit i feedback immediat. Aquest disseny inspira directament el model *printer/packer* de Kalax: dos operaris/àries, rols clarament diferenciats, un únic resultat comú —comandes empaquetades— i feedback instantani per a cada acció.

Com a aspectes a evitar o millorar, cal observar que la pressió temporal extrema genera estrès i poca fluïdesa, una característica sostenible com a entreteniment de mitja hora però perjudicial al llarg d'una jornada laboral. Kalax n'extreu la cooperació i el feedback, però descarta la pressió temporal punitiva, que substitueix per un ritme adaptatiu segons la productivitat i les prediccions operatives del magatzem.



Figura 6. Overcooked: cooperació amb rols asimètrics Nota. De Overcooked [videojoc], de Ghost Town Games, 2016, Team17 (<https://store.steampowered.com/app/448510/>). Reproducció amb finalitat acadèmica.

Unpacking (Witch Beam, 2021). Joc de tipus puzzle en què la persona jugadora desempaqueta caixes i col·loca objectes en habitacions, sense temporitzador, sense puntuació visible i sense penalització explícita. L'obra fou reconeguda amb el BAFTA Games Award el 2022 i obtingué una valoració crítica destacada.

D'aquest cas s'incorpora l'evidència que l'acte de col·locar objectes correctament en espais físics pot resultar intrínsecament satisfactori si el feedback és clar i el progrés és visible. Això sustenta la hipòtesi que el *sorting* pot generar motivació intrínseca sense necessitat de competició.

Com a aspectes a evitar o millorar, cal notar que *Unpacking* funciona perquè cada partida té un final estètic clar —l'habitació «ordenada»—. El picking diari no té un final tan satisfactori visualment; Kalax ho compensa amb feedback visual de comanda completada —LED verd, animació i so— que crea micro-finals satisfactoris.



Figura 7. Unpacking: col·locació d'objectes sense competició Nota. De Unpacking [videojoc], de Witch Beam, 2021, Humble Games (<https://www.unpackinggame.com/>). Reproducció amb finalitat acadèmica.

3.3 Gamificació en contextos laborals

Microsoft Language Quality Game (Microsoft Research, 2011). Sistema gamificat per a la revisió interna de la qualitat de les traduccions de Windows. El personal voluntari revisava cadenes traduïdes i en puntuava els errors potencials. La documentació del projecte indica un volum elevat de revisions i d'errors detectats, amb la particularitat que tots els participants hi col·laboraven de manera voluntària i sense incentius econòmics.

D'aquest cas s'incorpora l'evidència que la gamificació del treball funciona quan adreça el tedi intrínsec de la tasca, i no quan simplement hi afegeix recompenses externes. La revisió de traduccions s'assembla al picking, perquè totes dues són tasques cognitives repetitives en què la motivació es construeix amb feedback immediat i sensació de progrés.

Com a aspecte a evitar o millorar, cal tenir present que Microsoft disposava d'una població de treballadors/ores amb una predisposició tecnològica alta i amb autonomia per participar, condicions que no es donen automàticament en un magatzem. Kalax ho compensa amb un onboarding dedicat que es desenvolupa al capítol de disseny de la solució.

Salesforce Trailhead (Salesforce, 2014). Plataforma de formació gamificada que combina mòduls progressius, insígnies, punts i camins d'aprenentatge. Segons dades de la mateixa empresa, compta amb una base àmplia d'usuaris/àries actius i hauria reduït de manera notable el temps mitjà d'onboarding tècnic.

D'aquest cas s'incorpora el model de *learning paths* progressius i de certificació per insígnies, directament aplicable a l'onboarding de nous operaris/àries. La progressió estructurada redueix l'ansietat inicial i genera moments de victòria primerencs.

Com a aspecte a evitar o millorar, cal observar que Trailhead és essencialment un model PBL (*Points, Badges, Leaderboards*) aplicat a la formació tècnica. Burke (2014) adverteix contra la reproducció literal d'aquest model, motiu pel qual Kalax no s'hi limita.

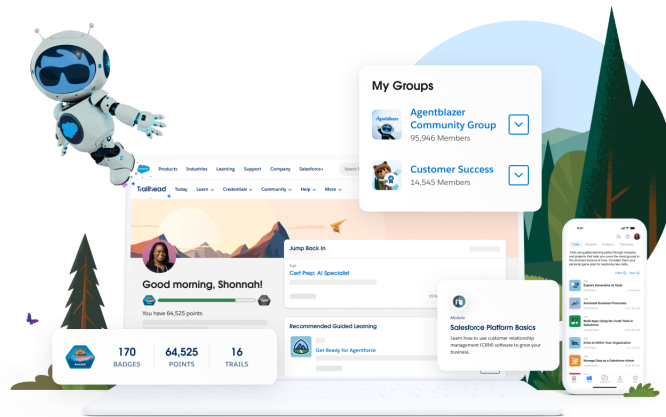


Figura 8. Salesforce Trailhead: learning paths i insígnies. Nota. De Trailhead [plataforma digital], de Salesforce.com, Inc., 2014 (<https://trailhead.salesforce.com/>). Reproducció amb finalitat acadèmica.

Lucas Systems i Wakefield Research (2024). Estudi de mercat amb 750 treballadors/ores de magatzem del Regne Unit i dels Estats Units. Les conclusions indiquen que el 84 % consideraria més probable romandre en una empresa que implementés competicions gamificades al voltant de les seves tasques, i que una gran majoria ja té experiència prèvia amb mecàniques de joc al treball (Lucas Systems i Wakefield Research, 2024).

D'aquest cas es prenen en consideració aquestes dades, que evidencien que la receptivitat del mercat actual a la gamificació en magatzems és alta i transversal a les generacions. Aquesta evidència permet contrarestar una de les principals objeccions pràctiques a la implantació de Kalax.

Com a aspecte a evitar o millorar, cal subratllar que les «competicions gamificades» no són sinònim de gamificació de qualitat. Per això aquestes dades es prenen com a indicador positiu de receptivitat, però en cap cas com a base per dissenyar la capa de gamificació.



Figura 9. Receptivitat del personal de magatzem a la gamificació. Nota. Elaboració pròpia a partir de Lucas Systems i Wakefield Research, 2024 (<https://www.lucasware.com/gamified-workplaces-entice-84-of-warehouse-workers/>).

Amazon Fulfillment Centers (2010 — actualitat). Sistema operatiu intern d'Amazon amb gamificació extensiva: rànkings individual visible, *streaks*, micro-objectius temporals i comparació entre torns. Aquestes pràctiques han estat documentades per Bloodworth (2018) i per diverses investigacions periodístiques.

D'aquest cas es recull l'evidència que, operativament, la gamificació en magatzems és tècnicament implementable a escala.

Tanmateix, el sistema d'Amazon ha rebut crítiques documentades per pressió excessiva, monitoratge intrusiu i potencial coercitiu (Bloodworth, 2018). Kalax pren aquest cas com a referent del que no s'ha de fer: la gamificació ha de ser opt-in, transparent, sense penalitzacions personals públiques i centrada en el benestar.

3.4 Recerca acadèmica sobre gamificació en logística i picking

Warmelink, Koivisto, Mayer, Vesa i Hamari (2020). Revisió sistemàtica publicada al *Journal of Business Research* que analitza estudis empírics sobre gamificació en producció i logística. Identifica la motivació, el gaudi i el flux com els principals *outcomes* psicològics estudiats, i el rendiment individual i l'eficiència com els *outcomes* conductuals més freqüents.

Aquesta revisió serveix per determinar que la classificació metodològica i el mapatge dels buits de recerca són la millor brúixola per posicionar acadèmicament Kalax. Els autors reclamen explícitament experiments més fonamentats en la teoria, una mancança que aquest treball assumeix de manera directa.

A més, la majoria dels estudis revisats presenten una qualitat metodològica baixa —mostres petites, absència de control i mètriques inconsistents—. Kalax adreça aquesta debilitat sectorial amb un disseny intrasubjecte rigorós i instruments validats múltiples.

Ponis, Plakas, Agalianos, Aretoulaki, Gayialis i Andrianopoulos (2020). Article publicat a *Procedia Manufacturing* que estudia la gamificació i la realitat augmentada com a eines per incrementar la motivació en el picking de comerç electrònic. L'estudi apunta beneficis potencials en engagement, productivitat i precisió.

Aquest treball ratifica de manera independent que la gamificació és aplicable al context logístic amb beneficis mesurables.

Com a aspecte a tenir en compte, cal notar que l'article és principalment conceptual i no aporta dades empíriques rigoroses. També identifica barreres —recursos limitats, desgast de l'interès pel joc amb el temps i consideracions ètiques—, totes adreçades de manera explícita en el disseny de Kalax mitjançant l'opt-in, la variabilitat i l'atenció a l'ètica.

Bahr, Mavrogenis i Sweeney (2022). Estudi qualitatiu publicat a l'*International Journal of Logistics Research and Applications* basat en entrevistes amb vuit responsables de magatzems del Regne Unit.

Una de les conclusions que formulen aquests responsables és que veuen valor en la gamificació, però que reclamen l'equitat per a totes les persones participants com a condició crítica.

Com a aspecte a millorar, cal observar que l'estudi recull només vuit entrevistes i que no incorpora la perspectiva dels operaris/àries, fet que evidencia un biaix de poder. Kalax adreça aquest problema centrant també la validació en les persones operàries, i no únicament en els equips de gestió.

Gallup State of the Global Workplace Report (2024). Informe anual de Gallup amb dades de 122 països. Les conclusions indiquen que només el 21 % del personal a escala global es considera *engaged* amb la feina, i que les empreses amb un engagement alt presenten un 23 % més de rendibilitat i un 51 % menys de rotació (Gallup, 2024).

Aquestes dades quantifiquen la dimensió macroeconòmica del problema d'engagement i justifiquen l'impacte potencial de Kalax en termes mesurables de retenció i productivitat.

Com a aspecte a considerar, cal notar que l'engagement que mesura Gallup és genèric i no específic de la logística. Kalax el complementa amb dades sectorials de la European Logistics Association (2023) i de Manhattan Associates (2024).

3.5 Sistemes de picking amb feedback visual i put-to-light

Banner Engineering PTL110, SSI Schäfer, Knapp. Estàndard industrial de sistemes put-to-light. L'arquitectura típica es basa en LED RGB per slot, projecció numèrica, botó de confirmació i bus RS-485 amb protocol Modbus RTU. El cost d'implantació típic se situa entre els 50.000 i els 500.000 euros per instal·lació, segons les dimensions i les necessitats de cada magatzem.

Kalax pren com a referència la seva arquitectura industrial estàndard —RS-485 i LED adreçables— per garantir compatibilitat, escalabilitat i robustesa del sistema.

Com a consideració important, cal notar que aquests sistemes no incorporen capa de gamificació ni configurabilitat de la graella, i que són rígids en el disseny i alts en el cost. Kalax es diferencia en totes dues dimensions: la configurabilitat total de la graella i una capa nativa de gamificació amb principis de LBE.



Figura 10. Arquitectura industrial estàndard de put-to-light. Nota. Elaboració pròpia a partir de documentació tècnica de Banner Engineering, SSI Schäfer i Knapp (<https://www.bannerengineering.com/>; <https://www.ssi-schaefer.com/>; <https://www.knapp.com/>).

Locus Robotics. Sistemes col·laboratius de robots i operaris/àries amb interfície gamificada. Es tracta de tecnologia avançada que ha demostrat retorn de la inversió en magatzems grans.

S'anota com a referència perquè demostra que la integració de la gamificació coexisteix amb el sector logístic fins i tot en els sistemes més avançats.

Tanmateix, és una solució completament fora de l'abast d'aquest projecte, ja que el cost se situa entre els 500.000 euros i el milió d'euros. A més, la seva gran complexitat espacial i operativa la fan inviable per a magatzems mitjans. Kalax es posiciona en el segment de la màxima eficiència humana sense inversió robòtica.

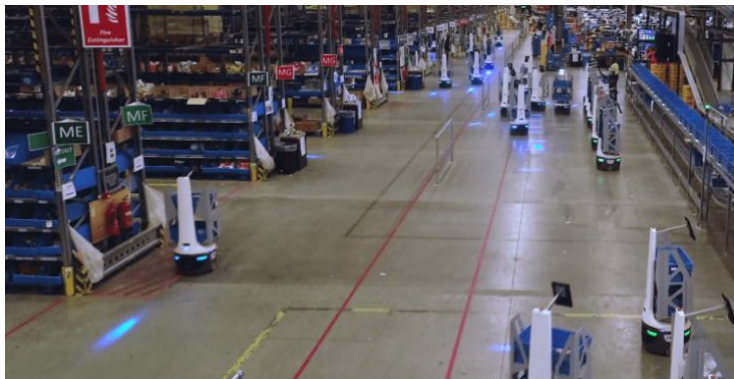


Figura 11. Sistema col·laboratiu de robots i operaris amb interfície gamificada Nota. De material corporatiu de Locus Robotics, 2024 (<https://locusrobotics.com/newsroom/>). Reproducció amb finalitat acadèmica.

3.6 Marcs acadèmics de gamificació

Deterding, Dixon, Khaled i Nacke (2011). Article fundacional que defineix la gamificació com l'ús d'elements de disseny de jocs en contextos no lúdics i que la distingeix amb claredat dels jocs seriosos, del disseny lúdic i de les interfícies amb estètica pròpia dels videojocs.

Aquesta definició s'incorpora a Kalax com a referència conceptual de base, ja que permet posicionar el projecte acadèmicament sense ambigüitat i delimitar amb precisió què és i què no és la capa de gamificació proposada.

Com a aspecte a millorar, cal assenyalar que la definició és deliberadament àmplia i, per tant, admet implementacions de qualitat molt diversa. Aquesta indefinició és precisament el buit que el Serious Games Canvas i el model Octalysis ajuden a omplir en el disseny de Kalax.

Hamari, Koivisto i Sarsa (2014). Revisió pionera de la literatura empírica sobre gamificació, titulada *Does Gamification Work?*, que analitza estudis empírics en contextos diversos.

D'aquest treball s'incorpora la conclusió que la gamificació produeix efectes positius, però amb una variabilitat elevada que depèn del context, de la motivació prèvia de les persones usuàries i del disseny

concret de cada solució. Aquesta troballa justifica la necessitat de dissenyar i validar Kalax específicament per a l'entorn del magatzem, en lloc de donar per fet que un model genèric hi funcionarà.

Com a aspecte a millorar, cal tenir present que alguns dels estudis inclosos a la revisió presenten biaixos metodològics significatius. Kalax adopta un disseny intrasubjecte per reduir aquest tipus de biaix.

Burke (2014). Obra de referència de l'analista de Gartner Brian Burke, titulada *Gamify: How Gamification Motivates People to Do Extraordinary Things*, que adverteix contra la gamificació superficial basada únicament en punts, insígnies i taules de classificació, un enfocament que genera implicació a curt termini però que no sosté la motivació intrínseca.

Aquesta advertència s'incorpora a Kalax com a principi rector del seu disseny ètic, perquè el sistema no es construeix sobre punts, insígnies i classificacions, sinó sobre la teoria de l'autodeterminació, l'experiència de flux i el disseny cooperatiu.

Com a aspecte a millorar, cal observar que l'obra se centra més en l'estratègia empresarial que en la pràctica concreta del disseny operatiu. El Serious Games Canvas i el model Octalysis aporten aquesta capa pràctica que el llibre no desenvolupa.

Morschheuser, Hassan, Werder i Hamari (2018). Mètode metodològic estructurat en set fases per al disseny de la gamificació en l'àmbit corporatiu.

Aquest mètode s'incorpora a Kalax com a guia per estructurar el procés de desenvolupament amb un procediment validat acadèmicament, de manera que cada etapa del projecte respongui a una seqüència contrastada i no a decisions improvisades.

Com a aspecte a millorar, cal apuntar que el marc és deliberadament genèric. Kalax concreta cada fase amb les dependències pròpies del context logístic i dels principis de l'entreteniment basat en la ubicació.

Garcia Pañella (2018). El Serious Games Canvas és una eina visual desenvolupada en el context docent d'ENTI-UB que estructura el disseny d'experiències gamificades en blocs interconnectats: l'objectiu, l'audiència, el context, les mecàniques, les dinàmiques, l'estètica i la narrativa, la tecnologia, les mètriques i els riscos.

Aquest llenç s'incorpora a Kalax com a marc estructurador principal del capítol dedicat al disseny de la solució i com a eina d'avaluació de la coherència interna del projecte. La versió completa del llenç aplicat a Kalax es presenta a l'Annex 1.

Com a aspecte a millorar, cal considerar que, com tota eina d'aquesta mena, funciona millor com a punt de partida estructural que com a especificació final. Per això es complementa amb un prototipatge iteratiu, que és exactament l'aproximació seguida en aquest treball.

4. Estudi de competència

L'estudi de competència de Kalax analitza els actors del mercat que competeixen per la mateixa problemàtica: millorar l'eficiència i l'experiència del picking en magatzems d'e-commerce. S'hi identifiquen tres categories: competidors directes (maquinari put-to-light industrial), competidors indirectes (automatització robòtica) i alternatives estructurals (millora de processos sense tecnologia).

4.1 Competidors directes

Els sistemes put-to-light industrials (Banner Engineering, SSI Schäfer, Knapp, Mecalux) constitueixen el primer grup de competidors directes. El seu posicionament és de tipus enterprise: presenten un cost d'implantació elevat (de l'ordre de 50.000 a més de 500.000 € per instal·lació), una integració amb l'ERP complexa, un suport tècnic especialitzat i una absència de capa de gamificació. La seva fortalesa principal és la robustesa industrial; la seva limitació, l'accessibilitat per a empreses mitjanes i la manca d'elements motivacionals.

Un segon grup el formen les solucions de picking gamificat propietàries (Locus Robotics, 6 River Systems), que combinen maquinari robòtic amb interfícies gamificades adreçades als treballadors/ores. El seu cost tendeix a resultar prohibitiu per a magatzems mitjans i el model de negoci (SaaS més maquinari) pot generar una dependència considerable del proveïdor. Kalax, com a solució de desenvolupament intern, mira de reduir aquesta dependència.

4.2 Competidors indirectes

L'automatització robòtica completa (AutoStore, Ocado Technology, Amazon Robotics) representa l'alternativa de màxima inversió, basada en la substitució del picking humà per robots. El cost (de l'ordre d'1 a més de 10 M€), la complexitat d'implantació i la rigidesa davant de canvis de catàleg suggereixen que aquesta opció no resulta viable per a la majoria de magatzems d'e-commerce de mida mitjana. Kalax es posiciona en el segment de l'eficiència humana optimitzada, com a alternativa més accessible i flexible.

Les solucions de formació i de KPI tradicionals (millora de processos, bonificació per rendiment) constitueixen una resposta no tecnològica que, segons sembla, no adreça el problema de l'engagement ni el tedi intrínsec del treball repetitiu, ja que tendeix a generar compliance més que no pas motivació intrínseca.

4.3 Posicionament de Kalax

Kalax es pot situar en el quadrant de la gamificació centrada en la persona (*human-centric gamification*): combina una capacitat tecnològica elevada amb un enfocament centrat en l'experiència humana, i no

pas en l'automatització. La seva proposta de valor presenta trets diferencials: integra un mètode operatiu nativament eficient (*multi-order picking*) amb una capa de feedback put-to-light i una capa de gamificació i LBE dissenyades des de la teoria acadèmica —la Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985), la Flow Theory (Csikszentmihalyi, 1990) i el Serious Games Canvas (Garcia Pañella, 2018) —. Aquesta capa de gamificació és d'activació voluntària (*opt-in*) i es planteja des d'una perspectiva ètica, en contrast amb els models coercitius documentats en altres entorns logístics. A més, la graella física resulta configurable i el sistema s'integra com a desenvolupament intern, sense cost de llicència.

4.4 Taula comparativa

La taula següent sintetitza els paràmetres clau de cada categoria competidora en relació amb Kalax i permet visualitzar el posicionament diferencial del framework proposat.

Paràmetre	Banner / SSI Schäfer	Locus Robotics	AutoStore / Ocado	Amazon FC (intern)	Kalax
Cost d'implantació	50k–500k €	≥ 1 M€	1–10 M€	Propietari	Baix-mitjà (confidencial)
Configurabilitat de la graella	Fixa	Robòtica fixa	Cel·les fixes	Robòtica fixa	Total — slots i dimensions configurables
Capa de gamificació	No	Parcial (UI)	No	Sí (PBL coercitiu)	Sí — SDT, Flow, SGC, opt-in
Integració de principis LBE	No	No	No	No	Sí — feedback multisensorial integrat a l'espai físic
Dependència del proveïdor	Alta	Alta (SaaS+HW)	Molt alta	N/A	Nul·la (intern)
Eficiència vs 1x1	Alta	Molt alta	Màxima	Molt alta	Alta — multi-order natiu
Focus humà / benestar	Neutre	Neutre	Substitueix humans	Documentadament negatiu	Central — disseny centrat en la persona
Time-to-deploy	Mesos	Mesos	≥ 1 any	N/A	2 mesos
Escalabilitat	Alta	Molt alta	Màxima	Màxima	Alta — arquitectura modular
Base teòrica documentada	Enginyeria	Operativa	Enginyeria	Comportamental (no pública)	SDT, LBE, SGC, MDA

Taula 1. Comparativa de sistemes competidors enfront de Kalax per paràmetres clau (elaboració pròpia). La taula deixa entreveure quatre eixos de diferenciació de Kalax respecte a la competència analitzada: (i) la configurabilitat total de la graella, (ii) la capa de gamificació amb fonament teòric explícit, (iii) la integració nativa de principis LBE, i (iv) el focus central en el benestar humà del personal operatiu.

Solució aportada

La solució que aquest treball aporta és Kalax, un terme que designa alhora un mètode de treball i el marc complet que l'envolta. En essència, Kalax és una manera nova de preparar comandes en un magatzem que substitueix el mètode tradicional, en què cada comanda es treballa de principi a fi una darrere l'altra, per un mètode que permet preparar-ne moltes alhora i que, a més, converteix la feina en una experiència guiada, clara i estimulante. El resultat no és només un sistema més ràpid, sinó un entorn de treball repensat. La persona operària deixa de memoritzar i de decidir constantment on va cada producte, perquè el sistema l'hi indica en el moment exacte amb llum, so i imatge, i veu el seu progrés reflectit a mesura que avança. Tot plegat se sosté sobre una arquitectura modular organitzada en capes, des de la recollida de productes fins a la capa d'experiència, l'estructura completa de la qual es detalla a l'apartat d'arquitectura tècnica del capítol de disseny de la solució.

El nom mateix del sistema explica bona part de la seva forma. Kalax és un homenatge directe al Kallax d'IKEA, el sistema d'emmagatzematge de cubs modulars que la companyia sueca va introduir l'any 2014 com a successor del popular Expedit. L'elecció no és casual ni merament estètica: el sistema dissenyat en aquest treball es construeix físicament sobre aquesta mena d'armari, de manera que la graella de caselles que estructura tot el mètode no és una peça de maquinari industrial a mida, sinó un moble modular accessible i àmpliament disponible al qual s'ha afegit a sobre una capa d'empaquetatge intel·ligent. La mateixa lògica de cubs intercanviables del Kallax original és la que permet que la graella de Kalax creixi, s'encongeixi o es reconfiguri segons l'espai de cada magatzem. El nom s'escriu amb una sola 'e', Kalax en lloc de Kallax, per dues raons complementàries: d'una banda, diferenciar la identitat pròpia del projecte de la del producte comercial que li serveix de base, deixant clar que es tracta d'un sistema nou i no d'un producte d'IKEA; de l'altra, una raó simbòlica, ja que la grafia lleugerament alterada assenyalava la transformació que defineix el projecte, un objecte quotidià que, repensat, esdevé l'eix d'un mètode de treball completament diferent. El desenvolupament complet de la identitat visual, amb el logotip i la paleta cromàtica, es recull a l'Annex 4.



Figura 12. Armari Kallax d'IKEA, base física sobre la qual es construeix el sistema Kalax Nota. De Kallax estanteria, blanco [fotografia de producte], d'IKEA, s.d. (<https://www.ikea.com/es/es/p/kallax-estanteria-blanco-10409932/>). Copyright IKEA.



*Figura 13. Vista general de l'estació Kalax, amb la graella central i els dos rols treballant a banda i banda
Nota. Fotografia pròpia.*

Per entendre què s'ha construït, el més útil és recórrer el camí complet d'una comanda, des del moment en què s'assigna la feina fins que el paquet queda llest per enviar. Tot el recorregut es divideix en tres moments encadenats que, junts, formen el que en aquest treball s'anomena el cicle Kalax.

El primer moment és la recollida, o picking. El sistema assigna a una persona operària un conjunt de comandes i li calcula una ruta optimitzada pel magatzem. Aquesta optimització de ruta no és trivial, ja que determina directament l'eficiència de tota la fase, i per això constitueix un apartat propi dins del desenvolupament; aquí n'hi ha prou de saber que l'objectiu és minimitzar els desplaçaments. Guiada per una aplicació mòbil, la persona recorre les prestatgeries i va dipositant en un únic contenidor, anomenat handbag, tots els productes que necessita, sense haver de separar-los ni ordenar-los per comanda. Aquesta és una diferència essencial respecte al mètode antic: en lloc de fer un viatge complet per cada comanda, fa un sol recorregut que serveix per a moltes alhora. El disseny concret de l'aplicació mòbil i de la generació de la handbag es descriu al capítol de desenvolupament. Quan el

contenedor és ple, arriba a l'estació de treball amb tots els productes barrejats, encara sense classificar.



Figura 14. Persona operària omplint la handbag seguint la ruta indicada per l'aplicació mòbil

Nota. Fotografia pròpia.

El segon moment és la classificació, i és aquí on Kalax revela la seva lògica cooperativa. Dues persones treballen juntes, una a cada costat d'una graella de caselles, amb rols diferents però complementaris. Aquest model cooperatiu de dos rols, que en el sistema reben el nom de printer i packer, és un dels elements de disseny centrals del projecte i es justifica amb detall a l'apartat de disseny operatiu del capítol de la solució. La primera persona, el printer, agafa els productes del contenidor un per un i els escaneja en una estació de treball digital, el nucli operatiu del sistema, que sincronitza en temps real tot el que passa a la graella. En el mateix instant de l'escaneig, l'estació decideix a quina casella ha d'anar el producte i l'hi indica per pantalla, alhora que encén la llum d'aquella casella perquè no hi hagi cap dubte. Aquesta decisió automàtica, l'assignació dinàmica de caselles, és la peça lògica que fa possible treballar moltes comandes en paral·lel sense confusió, i mereix per ella mateixa una explicació tècnica que es desenvolupa al capítol corresponent.

La indicació lluminosa per casella segueix el principi industrial conegut com a put-to-light, que el sistema implementa amb llums adreçables de manera individual; la manera com s'hi connecten i es controlen aquestes llums s'explica a l'apartat tècnic del desenvolupament. Cada gest correcte de la persona operària es respon a l'instant amb un senyal visual i sonor, de manera que sap en tot moment que va bé. Aquest feedback multisensorial no és accessori, sinó que forma part del disseny de l'experiència i té el seu propi apartat dins del capítol de la capa de gamificació. Quan tots els productes d'una mateixa comanda ja són a la seva casella, aquesta s'il·lumina en verd: la comanda està completa i a punt per empaquetar, i el sistema imprimeix automàticament la seva etiqueta d'enviament.



Figura 15. Detall de la graella amb una casella il·luminada (put-to-light) indicant on s'ha de col·locar el producte escanejat Nota. Fotografia pròpia.

El tercer moment és l'empaquetat, o packing. Des de l'altre costat de la graella, la segona persona, el packer, veu quines caselles s'han tornat verdes i sap que aquelles comandes ja es poden tancar. Recull els productes de la casella, els empaqueta amb l'etiqueta que el sistema acaba d'imprimir i confirma que la comanda està llesta. En aquell moment la casella s'apaga i queda lliure per acollir una comanda nova. Aquesta confirmació és el que tanca el cicle d'una comanda i allibera recursos per a la següent; el detall de com es gestiona aquest tancament i la sincronització entre els dos rols es troba al capítol de desenvolupament. Així, mentre una persona continua classificant productes, l'altra va tancant les comandes acabades, i totes dues avancen sense haver-se d'esperar.



Figura 16. Operari recollint els productes d'una comanda finalitzada Nota. Fotografia pròpia.

La graella sobre la qual passa tot això no té una mida fixa. Tal com hereta de la lògica de cubs modulars del Kallax original, el nombre de caselles, les seves dimensions i la seva disposició s'adapten a l'espai i als mitjans de cada magatzem, de manera que la mateixa solució pot servir tant per a una instal·lació petita com per a una de gran. Aquesta configurabilitat és, de fet, un dels trets que diferencien Kalax dels sistemes comercials equivalents, i és aquí on la decisió de partir d'un moble estàndard mostra tot el seu sentit: allà on les solucions industrials de put-to-light exigeixen inversions molt elevades en maquinari propietari, Kalax aspira a assolir un resultat comparable sobre una base econòmica, modular i fàcilment substituïble. El nom, doncs, condensa en una sola paraula la proposta de valor del projecte, és a dir, tecnologia accessible al servei d'una operativa més eficient i més humana. Les implicacions tècniques d'aquesta configurabilitat es desenvolupen a l'apartat d'arquitectura del capítol de la solució.

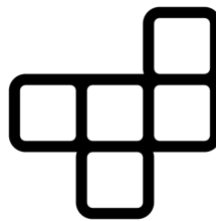


Figura 17. Logotip de Kalax i aplicació de la marca sobre l'estació de treball Nota. Icona de l'aplicació mòbil d'Amphora Logistics, 2026. Reproducció amb autorització de l'empresa.

Finalment, per damunt d'aquest funcionament base, Kalax afegeix una capa pensada per cuidar l'experiència de qui hi treballa. La llum, el so, la imatge i el sentit de progressió no són només indicacions útils, sinó els elements que poden convertir una jornada repetitiva en una activitat més clara, més lleugera i fins i tot més satisfactòria. Aquesta capa incorpora un sistema de progressió personal, ambientacions visuals i sonores intercanviables i elements de cooperació, i és sempre d'activació voluntària (opt-in), de manera que cada persona decideix fins a quin punt la vol. Com que constitueix la contribució experiencial principal del treball, es dissenya i es justifica de manera extensa al capítol dedicat a la capa de gamificació, estructurat al voltant del Serious Games Canvas (Garcia Pañella, 2018), amb la versió completa recollida als annexos.

En conjunt, doncs, la solució aportada és alhora un mètode de treball més eficient i una experiència de treball més humana. Aquest apartat n'ha ofert la visió de conjunt i ha introduït els components que la fan possible; cadascun d'aquests components, des de l'aplicació de recollida fins a la capa d'experiència, es desenvolupa amb tot el detall tècnic al capítol de desenvolupament de la solució, al qual es remet la persona lectora que en vulgui conèixer el funcionament intern.

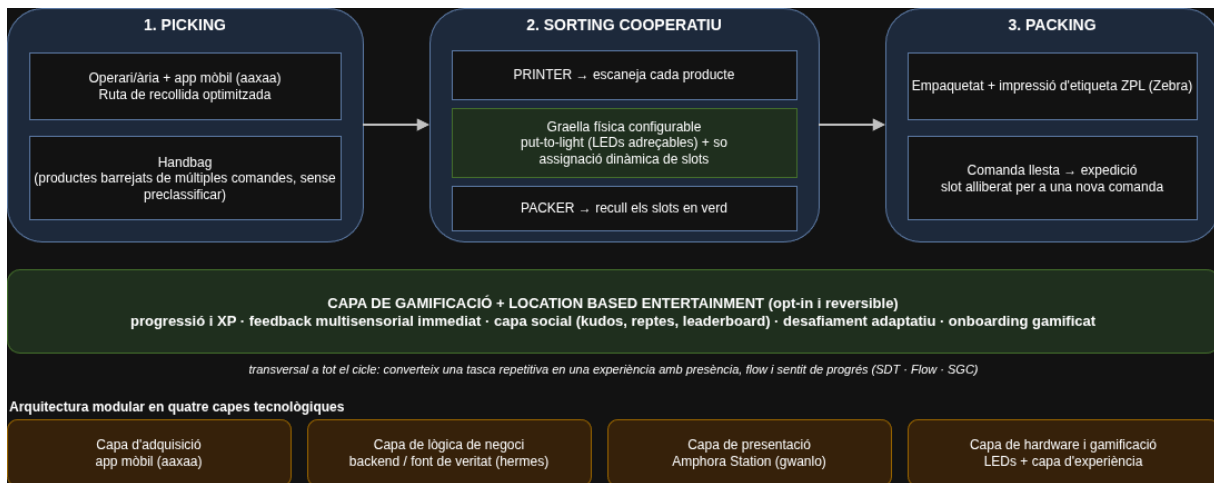


Figura 18. Esquema global de la solució Kalax: cicle operatiu, rols, capes tecnològiques i capa d'experiència. Nota. Elaboració pròpia mitjançant diagrams.net (draw.io). Versió editable disponible a <https://tinyurl.com/5cs8xf5m>

5. Metodologia i eines

5.1 Nota de confidencialitat

Cal advertir prèviament que el present apartat es troba parcialment limitat per un acord de confidencialitat subscrit amb Amphora Logistics, empresa en el marc de la qual s'ha desenvolupat el sistema Kalax. Per aquest motiu, la descripció de determinades decisions d'arquitectura, estructures de dades internes i detalls d'implementació del backend es presenta a un nivell d'abstracció suficient per garantir la comprensió acadèmica del projecte sense comprometre informació propietària de l'empresa.

5.2 Metodologia de recerca

La metodologia principal és Research Through Design (Frayling, 1993; Zimmerman, Forlizzi & Evenson, 2007), un enfocament de recerca en el qual el procés de disseny i prototipat és simultàniament el mètode i l'artefacte de la recerca. Aquesta metodologia es considera especialment adequada per a treballs que combinen contribució teòrica (el marc LBE + gamificació + SGC) amb contribució pràctica (el sistema Kalax), perquè permet que el disseny informi la teoria i a l'inrevés de manera iterativa.

El projecte es va organitzar en quatre fases seqüencials però permeables: (1) recerca teòrica i estat de l'art; (2) disseny conceptual de Kalax i de la capa de gamificació; (3) implementació del prototip funcional; i (4) validació amb persones usuàries i refinament. Cada fase alimenta les següents mitjançant un cicle d'anàlisi, disseny, implementació i avaluació.

5.3 Mètodes d'avaluació

L'avaluació del sistema va combinar tres famílies de mesures — quantitatives objectives, quantitatives subjectives i qualitatives — per triangular l'evidència des de perspectives complementàries. La combinació d'instruments respon explícitament a una de les observacions del tutor en la pre-memòria: el SUS i el NASA-TLX són escales històriques (anys vuitanta) però segueixen sent estàndards de facto a la indústria pel seu volum de dades de referència; per modernitzar la bateria, s'hi van afegir instruments contemporanis (UEQ, PENS) i tècniques qualitatives (Think-Aloud, entrevistes). El detall complet dels instruments adaptats, les dades agregades i les transcripcions es recull a l'Annex 3 (Instruments i dades de validació).

5.3.1 Instruments quantitativs subjectius (escales validades)

System Usability Scale (SUS) — Brooke (1996). Qüestionari de 10 ítems en escala Likert de 5 punts. La puntuació va de 0 a 100; un valor superior a 68 se sol considerar per sobre de la mitjana de la indústria, i un valor superior a 80 indica un nivell d'excel·lència. La justificació de mantenir-lo malgrat la seva

antiguitat és pràctica: el SUS disposa d'un volum molt ampli d'estudis publicats que en proporcionen normes de referència per a la comparació, difícilment igualable per altres escales.

NASA Task Load Index (NASA-TLX) — Hart & Staveland (1988). Mesura la càrrega de treball percebuda en sis dimensions: demanda mental, física i temporal, rendiment percebut, esforç i frustració. Es considera especialment rellevant per a Kalax perquè permet detectar si la gamificació redueix la càrrega cognitiva subjectiva o, al contrari, hi afegeix complexitat indesitjada.

User Experience Questionnaire (UEQ) — Laugwitz, Held & Schrepp (2008). Escala més moderna, de 26 ítems, que mesura sis dimensions: atractiu, perspiciuïtat, eficiència, fiabilitat, estimulació i novetat. Complementa el SUS amb la capa hedònica (estimulació, novetat) que el SUS no captura, especialment rellevant per avaluar la capa de gamificació.

Player Experience of Need Satisfaction (PENS) — Ryan, Rigby & Przybylski (2006). Escala derivada de la SDT (Deci & Ryan, 1985) que mesura específicament fins a quin punt una experiència interactiva satisfà l'autonomia, la competència i la relació. És l'instrument més directament alineat amb el marc teòric de Kalax.

5.3.2 Instruments qualitius

Els qüestionaris detecten què sent l'operari/ària, però no per què. Per capturar processos cognitius i emocions situades, s'hi van afegir tres tècniques qualitatives. El guió de l'entrevista i la matriu de feedback emprats es detallen a l'Annex 3.

Think-Aloud Protocol — Ericsson & Simon (1993). La persona usuària verbalitza en veu alta els seus pensaments mentre interactua amb el sistema. Aquesta tècnica permet identificar punts de fricció que la persona usuària podria no recordar al final de la sessió. Les verbalitzacions es van transcriure i codificar per temes (engagement, confusió, frustració, satisfacció).

Entrevista semiestructurada post-sessió — de 15 a 20 minuts, amb un guió de 10 preguntes obertes: comparació entre condicions, percepció de control, sentiment de progrés, opinió sobre la capa lúdica i suggeriments de millora. Les sessions es van gravar (amb consentiment), es van transcriure i es van analitzar amb codificació temàtica.

Matriu de feedback estructurat — fitxa que recull, per a cada condició, les tres coses que l'operari/ària considera millors i les tres que considera pitjors, més una proposta de millora prioritària. Facilita la comparació transversal entre persones.

5.3.3 Mètriques objectives

Les mètriques quantitatives objectives es van registrar automàticament pel sistema, sense intervenció humana: temps per ordre (des de l'escaneig de la bossa fins al packing de l'última comanda), taxa d'error

(productes col·locats en slot incorrecte sobre el total de productes escanejats), throughput (comandes completades per hora), nombre d'aplicacions de feedback negatiu i temps mitjà d'inactivitat per sessió.

5.3.4 Disseny experimental i variables demogràfiques

Els tests es van dur a terme amb un mínim de 10 operaris/àries reals d'Amphora Logistics, amb un disseny within-subjects (cada persona va provar tant el mètode tradicional 1x1, com Kalax sense gamificació, com Kalax amb gamificació). L'ordre de les condicions 2 i 3 es va contrabalancejar entre participants per controlar l'efecte de la pràctica. El consentiment informat va ser obligatori i les dades es van tractar de forma anònima, conforme al RGPD.

La caracterització de la mostra va incloure variables sociodemogràfiques rellevants: sexe (amb objectiu de paritat aproximada), edat (mitjana i desviació), antiguitat a la posició (mesos), experiència prèvia amb tecnologies digitals (escala 1-5 autoreportada) i experiència prèvia amb gamificació (sí/no). Aquestes variables permetrien detectar moderadors potencials de l'efecte de la gamificació.

5.4 Eines tecnològiques

5.4.1 Entorns de desenvolupament

Entorn 1 — Aplicació mòbil de picking. Cobreix el disseny i la implementació de l'aplicació mòbil destinada a les persones operàries que realitzen el picking al magatzem. L'aplicació guia l'operari/ària per la ruta de recollida de productes optimitzada per algoritme i permet omplir la handbag de forma eficient sense pre-classificació. L'eina principal de desenvolupament és Cursor, un entorn de programació assistit per IA que accelera el cicle de prototipat. El framework escollit és React Native, justificat per la seva capacitat de generar aplicacions natives per a iOS i Android des d'una única base de codi, la seva àmplia adopció al sector i la disponibilitat de components especialitzats per a entorns industrials. React Native permet, a més, la integració nativa amb escàners de codis de barres via HID (Human Interface Device), un requisit tècnic crític per al flux de picking.



Figura 19. Menú d'assignació de tasques de l'aplicació d'Amphora Nota. Captura de l'aplicació mòbil d'Amphora Logistics, 2026. Reproducció amb autorització de l'empresa.

Entorn 2 — Backend i base de dades. Comprèn el disseny i la implementació del backend del sistema Kalax, encarregat de la lògica de negoci: creació de jobs, assignació dinàmica de slots, seguiment de l'estat de cada comanda i gestió dels esdeveniments de magatzem. El backend s'implementa en Python, un llenguatge amb un ecosistema madur per a aplicacions de logística i integració de sistemes, i s'integra en el sistema Hermes existent d'Amphora. L'emmagatzematge de dades utilitza Amazon DynamoDB, una base de dades NoSQL clau-valor triada per la seva escalabilitat horitzontal, la seva baixa latència en operacions de lectura i escriptura — crítiques en un entorn de picking en temps real — i la seva integració nativa amb l'ecosistema AWS ja en ús a Amphora.

warehouse_type - Partition key	2#KALAX	String
Id - Sort key	1000000021ff5976	String
children	Insert a field ▼	List Remove
Value 0	Null	Null Remove
Value 1	Null	Null Remove
Value 2	Null	Null Remove
Value 3	Null	Null Remove
Value 4	Null	Null Remove
Value 5	2#OUTBOUND@KALAX-TEST-2026-04-09T16:53:49+00:00-101	String Remove

Figura 20. Representació de les entitats Kalax a DynamoDB. Captura del ecosistema de dades d'Amphora Logistics, 2026. Reproducció amb autorització de l'empresa.

Entorn 3 — Amphora Station: interfície digital de printing i packing. És el nucli operatiu de Kalax i correspon al desenvolupament de la interfície digital de l'Amphora Station, la primera iteració funcional completa del mètode. L'Amphora Station és una estació de treball basada en Raspberry Pi que integra un servidor Flask amb Socket.IO per gestionar la comunicació en temps real entre el backend i la interfície, un escàner de codis de barres connectat via HID i una impressora d'etiquetes Zebra (ZPL). La interfície d'usuari es desenvolupa en Vue.js 3, un framework de JavaScript triat per la seva arquitectura reactiva basada en components, el seu rendiment en interfícies d'alta freqüència d'actualització i la seva integració amb l'ecosistema existent. Aquest entorn representa la versió de Kalax sense hardware de LEDs: el feedback visual es proporciona exclusivament a través de la interfície digital (colors de slot, animacions, so), cosa que permet validar el flux cooperatiu printer/packer i la lògica d'assignació dinàmica abans d'introduir la capa de hardware.

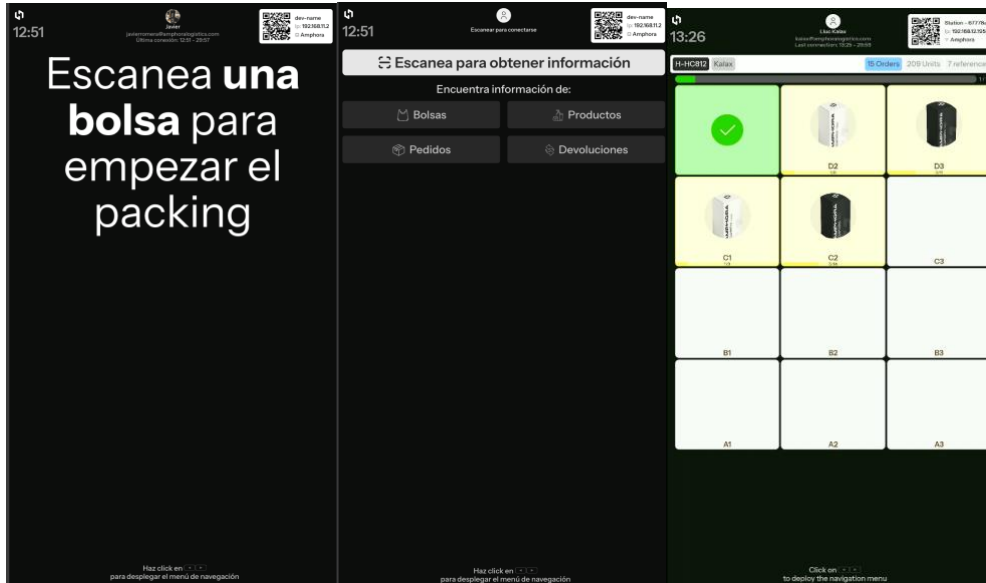


Figura 21. Pantalles referents al menú d'inci i procés Kalax. Collage de captures de gwanlo web front d'Amphora Logistics, 2026. Reproducció amb autorització de l'empresa.

Entorn 4 — Hardware de LEDs i capa de gamificació. Prototipat final on la capa digital s'integra amb el sistema físic de LEDs i amb la capa de gamificació. Cada slot incorpora una tira de LEDs WS2815 triats per la seva adreçabilitat individual, la seva gamma RGB i el seu baix cost per a entorns de prototipat. El control s'implementa amb microcontroladors Arduino Uno, comunicats amb l'Amphora Station via USB. La justificació d'aquest protocol enfront d'alternatives sense fil (Wi-Fi, Bluetooth) rau en la seva robustesa en entorns industrials amb interferències electromagnètiques, la seva latència determinista i la seva topologia de bus, que permet connectar múltiples dispositius en una única línia física. La capa de gamificació s'implementa com a extensió de la interfície Vue.js 3 existent, i hi afegeix els sistemes de progressió, feedback sonor, elements socials i desafiament adaptatiu descrits al capítol 6.



Figura 22. Primer prototip funcional per fer testing. Nota. Fotografia porpia

5.4.2 Eines de gestió i control de versions

La gestió del projecte es va organitzar mitjançant sprints de dues setmanes, amb reunions de revisió amb l'equip d'Amphora al final de cada cicle. El control de versions utilitza Git amb una estratègia de feature branching, integrat en el repositori existent d'Amphora. La documentació tècnica es manté actualitzada de forma paral·lela al desenvolupament. La gestió de tasques utilitza Jira, ja desplegada a Amphora.

5.4.3 Resum del stack tecnològic

Entorn	Capa	Tecnologia	Justificació principal
1 — Picking mòbil	Frontend mòbil	React Native + Cursor	Multiplataforma, integració HID, prototipat ràpid amb IA assistida
2 — Backend	Servidor + dades	Python + DynamoDB	Escalabilitat, baixa latència, ecosistema AWS preexistent
3 — Amphora Station	Frontend web	Vue.js 3 + Flask + Socket.IO	Reactivitat, temps real, integració amb sistema preexistent
3 — Amphora Station	Hardware perifèric	Raspberry Pi + Zebra ZPL	Estació robusta, impressió d'etiquetes industrial
4 — Hardware + gamificació	Hardware LED	WS2815 + Arduino Uno	Adreçabilitat individual, cost, flexibilitat de prototipat
4 — Hardware + gamificació	Comunicació	USB + Layer	Robustesa industrial, latència determinista

Taula 2. Stack tecnològic complet de Kalax desplegat en els quatre entorns de desenvolupament.

6. Disseny de la solució

Aquest capítol descriu el disseny complet del sistema Kalax. Comença per una visió funcional del flux operatiu (6.1) per fixar conceptualment què és el sistema, segueix per l'arquitectura tècnica i el funcionament dels seus components (6.2), detalla el flux operatiu extrem a extrem que coordina aquests components (6.3) i culmina amb el disseny de la capa de gamificació, estructurada explícitament al voltant del Serious Games Canvas de Oscar Garcia Pañella (6.4). El capítol assumeix que la persona lectora ja coneix els fonaments teòrics presentats al capítol 1 i els objectius del capítol 2. El detall d'enginyeria de baix nivell —codi, models de dades de DynamoDB, estructura de repositoris, configuracions de hardware i protocols— es presenta a l'Annex 2; aquest capítol explica el funcionament i les decisions de disseny i hi remet quan escau. El disseny visual d'alta fidelitat de la capa de gamificació sobre la interfície de l'Amphora Station es recull a l'Annex 4.

6.1 Disseny operatiu de Kalax: visió de conjunt

Kalax és un mètode integral de multi-order picking i packing que cobreix tot el flux operatiu des de la recollida de productes al magatzem fins a l'empaquetat final. El disseny respon als requeriments funcionals i no funcionals identificats a partir de l'anàlisi del mètode 1x1 existent i s'ha construït de manera iterativa a través dels quatre entorns de desenvolupament descrits al capítol 5.

El flux complet s'articula en tres etapes seqüencials.

Etapa 1 — Picking. Un/a operari/ària recorre el magatzem seguint una ruta optimitzada per algoritme, guiat/ada per l'aplicació mòbil, i omple una handbag amb un conjunt de productes no preclassificats corresponents a múltiples comandes simultànies. La bossa arriba a l'Amphora Station sense ordenar.

Etapa 2 — Sorting cooperatiu. Dos operaris/àries —el printer i el packer— treballen a banda i banda d'una graella física configurable. El printer escaneja cada producte de la bossa i la interfície de l'Amphora Station li indica en temps real quin slot ha d'ocupar, reforçat pels LEDs individuals. El printer confirma la col·locació escanejant el codi del slot. Quan tots els productes d'una comanda han estat col·locats, els LEDs del slot s'il·luminen en verd.

Etapa 3 — Packing. El packer, des de l'altre costat de la graella, es limita a recollir els productes dels slots en verd i a empaquetar la comanda; el sistema registra la retirada, els LEDs s'apaguen i el slot queda disponible per a una nova comanda. El cicle Kalax es tanca quan tots els productes de la bossa han estat classificats i empaquetats.

La graella física és completament configurable: el nombre de slots, les seves dimensions i la seva disposició depenen exclusivament de l'espai disponible al magatzem i de les limitacions de la infraestructura de hardware. No hi ha un nombre fix de slots; cada implantació és una decisió operativa independent.

Aquesta definició funcional ja apareix breument a la introducció (capítol 1) per oferir un model mental ràpid des de l'inici del document; aquí es desenvolupa amb el detall tècnic de disseny.

6.2 Arquitectura tècnica i funcionament dels components

El sistema Kalax no és una única aplicació monolítica, sinó la coordinació de tres bases de codi independents que es comuniquen mitjançant APIs HTTP, esdeveniments Socket.IO i missatges de cua asíncrona. Aquestes tres bases de codi —identificades internament com a hermes, gwanlo i aaxaa— pertanyen a Amphora Logistics i ja eren en producció abans de Kalax; el treball ha consistit, entre altres coses, a estendre cadascuna amb les capes funcionals necessàries perquè el flux multi-order travessi tota la cadena, des de la generació del job fins a l'empaquetat final. Aquesta secció n'explica el rol i el funcionament a escala de disseny; el detall d'implementació (funcions concretes, models de dades, estructura de subprojectes i configuracions) es presenta a l'Annex 2.

Un aclariment sobre la nomenclatura del sistema. Els noms hermes, gwanlo i aaxaa no responen a cap acrònim ni descripció funcional: són noms en clau interns d'Amphora Logistics, anteriors a aquest projecte, amb què l'empresa identifica els seus repositoris i serveis. Amphora segueix la convenció corporativa de batejar els seus components amb noms propis, la majoria inspirats en la mitologia grega —com el mateix hermes, el déu missatger, una elecció especialment escaient per a la base de codi que actua com a font de veritat i centre de comunicacions de tot el sistema (6.2.2)—. Aquesta convenció de noms és una decisió de l'empresa i no forma part de les aportacions d'aquest treball; es conserva la terminologia original per fidelitat a l'entorn real on Kalax s'ha desplegat i per facilitar-ne la traçabilitat amb la documentació interna d'Amphora. L'única excepció rellevant és el nom Kalax, encunyat específicament per a aquest TFG (vegeu l'apartat «Solució aportada» del capítol 4), que designa alhora el mètode i el framework.

6.2.1 Visió en capes

Funcionalment, el sistema s'estructura en quatre capes tecnològiques corresponents als quatre entorns de desenvolupament del capítol 5, cadascuna amb responsabilitats ben delimitades.

Capa d'adquisició — aplicació mòbil de picking, desenvolupada en React Native. Guia l'operari/ària per la ruta de recollida i genera la handbag de productes no classificats. La integració HID amb l'escàner permet una lectura sense fricció.

Capa de lògica de negoci — backend en Python integrat al sistema d'Amphora. Gestiona la creació de jobs, l'assignació dinàmica de slots i el seguiment d'estats i esdeveniments. La persistència es resol en Amazon DynamoDB, amb baixa latència per a operacions concurrents.

Capa de presentació — interfície digital de l'Amphora Station. Client web Vue.js sobre Raspberry Pi, connectat a escàner HID i impressora Zebra ZPL. La comunicació entre backend i frontend es vehicula via Flask amb Socket.IO, fet que garanteix una sincronització immediata.

Capa de hardware i gamificació — graella física amb LEDs adreçables controlats des de la Raspberry Pi. La capa de gamificació s'implementa com a extensió de la interfície existent, afegint-hi els components descrits a 6.4.

La separació modular en capes permet validar cada fase de manera independent: el flux digital pur (capes 1-3) es valida abans d'afegir la capa física de LEDs, i la gamificació es valida com a extensió no destructiva del flux operatiu base. Aquesta decisió de disseny és la que fa possible el protocol de validació within-subjects del capítol 5, que contrasta la condició Kalax base (C2) amb la condició Kalax amb gamificació (C3) sobre una mateixa infraestructura.

Aquestes quatre capes es materialitzen en els tres components de programari següents. Cal notar que el repartiment no és d'una capa per component: la lògica de negoci resideix íntegrament en hermes, mentre que les capes d'adquisició, presentació i hardware es reparteixen entre aaxaa (mòbil) i gwanlo (estació).

6.2.2 Hermes — lògica de negoci i font de veritat

hermes és el backend de lògica de negoci d'Amphora, desplegat com a conjunt de funcions sense servidor (AWS Lambda) sobre Python, amb persistència en Amazon DynamoDB a la regió europea. En el context de Kalax, assumeix tres responsabilitats crítiques de disseny.

La primera és generar els picking jobs de tipus Kalax a partir del backlog de comandes, agrupant comandes compatibles segons regles configurables per a cada client. Aquesta agrupació és el cor conceptual del multi-order: en lloc de processar una comanda cada cop, el sistema decideix quantes comandes i quins productes conviuen en una mateixa sessió. Les regles d'agrupació (nombre màxim i mínim de comandes per job, sostre d'ítems, prioritats, compatibilitat d'etiquetes) es defineixen per parell magatzem-empresa, de manera que el mateix mètode pot servir marques amb cistells petits i marques amb cistells grans sense canviar codi. Aquesta parametrització per client és una decisió de disseny deliberada que prioritza la replicabilitat del Kalax Framework per damunt d'una solució a mida.

La segona responsabilitat és calcular la ruta de recollida òptima per a cada job. A partir dels productes agrupats i de la seva ubicació al magatzem, hermes ordena la seqüència de visites mitjançant un solver de camí més curt; quan el magatzem té un layout configurat, el càlcul fa servir distàncies reals, i, en cas contrari, recorre a una heurística sobre l'ordre nominal de les ubicacions. El resultat es desa en memòria cau per reutilitzar-lo quan un conjunt de productes similar torna a aparèixer, fet que evita un càlcul que pot ser costós en magatzems grans.

La tercera responsabilitat és actuar com a font única de veritat per a les altres dues bases de codi: hermes manté l'estat persistent del Kalax —la graella física, els slots i els productes classificats en cada moment— i exposa els endpoints HTTP que tant l'Amphora Station com l'aplicació mòbil consumeixen en temps real. Aquesta centralització és el que permet que dues pantalles físiques (la del printer i la del packer) i una tauleta mòbil operin sobre un mateix estat coherent sense conflictes. Per evitar carreres entre operacions concurrents —per exemple, que la pantalla del printer i una operació de gestió mòbil modifiquin la graella alhora—, l'estat de la graella incorpora un mecanisme de bloqueig que els handlers comproven abans de qualsevol modificació.

La preparació de jobs no es resol en línia: per no bloquejar el client, una crida HTTP inicial dispara una tasca asíncrona que pren un bloqueig per parell magatzem-empresa i hi executa, en ordre de prioritat, la cadena de preparació de tots els mètodes de picking, Kalax inclòs. Aquest disseny asíncron i ordenat garanteix que cap comanda es consideri dues vegades i que la preparació de Kalax convisqui amb la resta de metodologies del magatzem. El detall complet —funcions Lambda concretes, esquema de les taules DynamoDB, capa d'APIs internes i cues de missatges— es presenta a l'Annex 2.

6.2.3 Gwanlo — l'Amphora Station

gwanlo és la pila de programari de l'Amphora Station, el conjunt físic format per una Raspberry Pi, la pantalla, l'escàner HID, la impressora Zebra ZPL, els altaveus i els LEDs perifèrics. És el "rostre" físic del sistema: el que la persona operària veu i toca durant la sessió de sorting cooperatiu. A escala de disseny, gwanlo combina tres funcions.

La primera és la interfície de classificació i empaquetat. Un component frontend renderitza la graella amb els seus estats per slot (buit, assignat, pendent, completat i un breu refredament verd en finalitzar una comanda) i la barra de progrés global de la sessió. La lògica que governa aquests estats —escaneig de la handbag, escaneig de producte, assignació dinàmica de slot, marcatge de comanda completa i refredament— es manté separada de la part visual en un controlador de màquina d'estats independent. Aquesta separació entre presentació i lògica és una decisió de disseny que permet provar el comportament del sistema sense muntar la interfície i refactoritzar la lògica sense regressions.

La segona funció és el control del hardware perifèric. Un backend local sobre la Raspberry Pi orquestra l'escàner HID, els botons físics, el LED d'estat i la comunicació en temps real amb les altres peces. Cada lectura de l'escàner es classifica segons un prefix —handbag, slot de graella, producte o etiqueta de sortida— i això determina quin handler de la interfície s'invoca. El feedback put-to-light, element central del disseny LBE de Kalax, s'aconsegueix il·luminant els LEDs sobre cada slot en resposta als esdeveniments del backend (per exemple, groc en assignar, verd en completar una comanda).

La tercera funció és la impressió. Un servei d'impressió desacoblat, executat en un procés independent del nucli per aïllar-ne les fallades, descobreix les impressores Zebra, hi encua els jobs i en monitora la

salut. L'ordre d'impressió en llenguatge ZPL es genera al backend hermes; el servei local només l'encua i el lliura a la impressora. La impressió de l'etiqueta és l'esdeveniment que tanca el cicle de cada comanda: completar la comanda, imprimir l'etiqueta, enganxar-la i tancar l'operació.

Convé fer una precisió de disseny respecte a la versió funcional descrita en aquest capítol. La implementació auditada utilitza una versió de Vue amb adaptador cap a la Composition API (una migració parcial cap a Vue 3) i LEDs adreçables controlats directament des de la GPIO de la Raspberry Pi. El control de LEDs mitjançant un microcontrolador intermedi (ESP32) sobre RS-485 / Modbus RTU és una evolució prevista per a la fase de graelles grans —de l'ordre de més de vuitanta LEDs—, quan la gestió del corrent ho faci necessari; en el moment de l'auditoria existeix com a banc de proves. El detall d'aquesta divergència entre disseny i implementació, així com l'estructura de subprojectes, els pins de GPIO, el protocol dels LEDs i l'esquema d'arrencada i actualització de la Raspberry Pi, es documenta a l'Annex 2.

6.2.4 Aaxaa — l'aplicació mòbil de picking

aaxaa és l'aplicació mòbil d'Amphora, desenvolupada en React Native i distribuïda principalment sobre tauletes industrials Android. En el sistema Kalax cobreix dos rols complementaris. El primer és el rol de picker: la persona que recorre el magatzem amb una handbag i recull els productes seguint la ruta proposada. El segon és el rol d'eines de gestió (Tools): un conjunt de pantalles d'administració in situ que permeten crear, redimensionar, buidar o eliminar una graella Kalax sense haver de tornar a l'oficina. Tots dos rols comparteixen la mateixa aplicació, però hi accedeixen per fluxos de navegació diferents.

Una decisió de disseny rellevant en el rol de picker és la persistència de l'estat entre tancaments inesperats i sessions. L'estat del job actiu es desa localment al dispositiu, de manera que, si l'aplicació es tanca a mig flux —per fatiga, per un cop accidental o per un error—, la propera obertura recupera exactament la posició del picker. En jornades de vuit hores, aquesta resiliència és un requeriment essencial: la pèrdua d'un job a mig recórrer obligaria a refer feina i erosionaria la confiança en el sistema.

En el rol de gestió, les pantalles d'eines permeten definir la geometria de la graella (files per columnes), assignar-li una impressora i imprimir el joc d'etiquetes ZPL amb els codis dels slots, així com redimensionar o buidar la graella amb validacions prèvies (per exemple, no es permet reduir-la per sota del nombre de slots actualment ocupats). El detall de les pantalles concretes, els helpers de conversió de coordenades i els endpoints invocats es presenta a l'Annex 2.

6.3 Flux operatiu extrem a extrem i comunicació en temps real

Les tres bases de codi descrites a 6.2 cooperen al llarg d'una sessió Kalax completa. Aquesta secció n'explica el funcionament conjunt a escala de disseny, posant l'èmfasi en tres decisions clau: l'assignació

dinàmica de slots, el feedback put-to-light i la comunicació en temps real. La traça tècnica detallada del flux, amb els noms de funció i els endpoints concrets de cada fase, es presenta a l'Annex 2.

6.3.1 De la configuració al tancament

El cicle comença amb la configuració de la graella. La persona coordinadora del magatzem, des de la tauleta, identifica l'estació i en sol·licita la creació; un cop validada, fixa la geometria de la graella, i el sistema en desa l'estat al backend i imprimeix les etiquetes ZPL dels slots a la impressora de l'estació.

A continuació, de manera asíncrona, hermes genera els jobs Kalax: agrupa les comandes compatibles, en calcula la ruta de recollida i deixa cada job disponible per ser assignat. Quan un/a operari/ària inicia una sessió de picking des de l'aplicació mòbil, rep un job Kalax, segueix la ruta proposada escanejant cada producte a la seva ubicació i, en acabar, escaneja la handbag per consolidar la sessió i deixar el lot a punt per al sorting.

El lot arriba llavors a l'Amphora Station. El printer escaneja la handbag a la pantalla principal; la configuració de la graella ja s'havia carregat en connectar-se l'estació, i la màquina d'estats s'inicia. Cada producte escanejat consulta el backend, que retorna el slot que li correspon; la interfície actualitza el color del slot i les animacions, i el LED físic reacciona en conseqüència. Al costat oposat de la graella, una segona pantalla mostra els slots completats en verd. Quan el packer recull els productes d'un slot completat, el sistema buida el slot, marca la comanda com a empaquetada i, si tota la comanda ha estat empaquetada, genera l'etiqueta ZPL i la lliura al servei d'impressió. Quan tots els productes de la handbag s'han processat, el backend tanca la sessió, l'aplicació mòbil en rep notificació i mostra el resum (temps total, productes processats, errors). Els indicadors objectius que s'analitzen al capítol 8 —temps per ordre, taxa d'error, throughput i inactivitat— es calculen a partir dels esdeveniments que aquest flux deixa registrats.

6.3.2 Assignació dinàmica de slots

A diferència d'un sistema put-to-light tradicional, en què cada referència té un slot fix preassignat, a Kalax l'assignació de slots és dinàmica: el slot que ocupa una comanda no es decideix per endavant, sinó en el moment en què el printer escaneja el primer producte de cada comanda durant el sorting. El backend manté l'estat de la graella —quins slots són buits i quins estan ocupats, i per quina comanda— i, davant de cada escaneig, decideix la ubicació i la retorna a la interfície, que la comunica al printer mitjançant la pantalla i el LED corresponent.

Aquesta decisió de disseny té diverses implicacions. Permet aprofitar qualsevol graella sense reconfigurar-la per a cada lot de comandes, fa que el nombre de slots no hagi de coincidir amb el nombre de referències del catàleg i evita el manteniment d'un mapa estàtic referència-slot que caldria revisar a cada canvi d'assortiment. El cost que comporta —la necessitat de mantenir un estat compartit

i coherent entre diverses pantalles— es resol amb el bloqueig de la graella i la centralització de l'estat a hermes descrits a 6.2.2.

6.3.3 Feedback put-to-light i comunicació en temps real

El feedback put-to-light és l'element que connecta el disseny tècnic amb la proposta LBE del TFG. Quan el backend assigna un slot o detecta que una comanda s'ha completat, l'esdeveniment es propaga immediatament a la interfície de l'estació i als LEDs físics sobre la graella, que canvien de color en temps real. Aquesta immediatesa no és un detall cosmètic: és la condició perquè el feedback multisensorial descrit a la mecànica 2 (6.4.3) funcioni com a reforç i no com a interferència.

La immediatesa s'aconsegueix amb comunicació en temps real basada en Socket.IO. En lloc de fer que les pantalles preguntin periòdicament pel nou estat, el backend de l'estació emet esdeveniments que els clients connectats reben i reflecteixen a l'instant; així, la pantalla del printer, la del packer i la tauleta mòbil es mantenen sincronitzades sobre un mateix estat. Aquesta comunicació governa també la gestió de la graella des de la tauleta: quan la persona coordinadora hi prem una acció, l'aplicació no navega directament, sinó que emet un esdeveniment que l'estació valida i contesta indicant quina pantalla cal mostrar. Aquesta indirecció centralitza la validació al servidor i evita, per exemple, que dues persones coordinadores creïn graelles en conflicte sobre una mateixa estació. El detall dels esdeveniments concrets, dels canals i dels endpoints implicats es presenta a l'Annex 2.

6.4 Disseny de la capa de gamificació

6.4.1 Per què cal gamificar: justificació del disseny

Abans d'enumerar les mecàniques cal explicitar la cadena causal que les justifica. La gamificació de Kalax no és una capa cosmètica afegida com a ornament: respon a un problema operatiu i humà concret, documentat a la introducció i a l'estat de l'art.

El problema té tres dimensions encadenades.

Dimensió operativa: el picking 1x1 és estructuralment ineficient. Kalax l'adreça amb el mètode multi-order (etapa operativa de 6.1 i capa tècnica de 6.2).

Dimensió psicològica: el treball repetitiu de magatzem genera, segons la literatura citada al capítol 1, baix engagement, fatiga cognitiva acumulada i errors per pèrdua d'atenció. Cap millora purament operativa no adreça aquesta dimensió.

Dimensió econòmica: l'engagement baix s'associa a una rotació anual elevada al sector logístic (de l'ordre del 35-50 %, ELA, 2023), amb un cost de substitució per persona que pot superar els 8.000 €. La rotació, al seu torn, tendeix a reduir la corba d'aprenentatge mitjana del col·lectiu.

La gamificació, dissenyada correctament, pot adreçar la dimensió psicològica activant la motivació intrínseca per via de la Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985) i mantenint l'estat de flow per via del desafiament adaptatiu (Csikszentmihalyi, 1990). La hipòtesi mesurable del TFG és que aquesta activació produeix millores en engagement, precisió i temps per ordre, una expectativa coherent amb la literatura, que indica que els efectes de la gamificació depenen fortament del context i del disseny (Hamari et al., 2014).

La justificació té implicacions de disseny: la gamificació de Kalax no es construeix sobre punts, insígnies i classificacions de caràcter coercitiu (Burke, 2014), sinó sobre quatre principis ètics —opt-in real, transparència, no-punició personal pública i centralitat del benestar— que la diferencien estructuralment del cas Amazon analitzat al capítol 3 (Bloodworth, 2018).

Què fa, exactament, que la gamificació funcioni; La capa lúdica no millora l'experiència pel simple fet d'afegir punts o colors: millora perquè tanca tres bucles psicològics que el treball repetitiu deixa oberts. El primer és el bucle de competència: cada acció correcta rep una resposta immediata i inequívoca (XP, so, llum), de manera que l'operari/ària percep el seu propi progrés en temps real, una percepció que la tasca 1x1 —sense feedback visible— no proporcionava. El segon és el bucle d'autonomia: en ser la capa opt-in i configurable, la persona decideix el seu grau d'exposició i recupera una sensació de control sobre com fa la feina. El tercer és el bucle de relació: la cooperació estructural printer/packer i els elements socials opt-in (kudos, reptes d'equip) converteixen una tasca individual i aïllada en una activitat compartida i reconeguda. Aquests tres bucles són, precisament, les tres necessitats psicològiques bàsiques de la Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985); quan es satisfan simultàniament, la motivació deixa de ser exclusivament extrínseca i es torna intrínseca i, per tant, més sostenible.

Quins efectes genera; De la satisfacció d'aquestes necessitats se'n deriva una cadena d'efectes observables. En primer lloc, més engagement: la persona s'implica cognitivament i emocionalment en la tasca, fet que es tradueix en una caiguda del temps d'inactivitat (un marcador objectiu de l'absorció pròpia de l'estat de flow). En segon lloc, menys errors: l'atenció sostinguda que acompanya l'engagement, reforçada per uns triggers de baixa ambigüïtat (LEDs i sons) en el sentit del model de Fogg (2009), redueix els lapsus per pèrdua de vigilància que la literatura associa al treball monòton (Parasuraman et al., 2011). En tercer lloc, menys càrrega percebuda: en estructurar la tasca amb objectius clars i retroacció immediata —condicions de l'estat de flow (Csikszentmihalyi, 1990)—, la feina se sent més lleugera tot i que el ritme objectiu és més alt. I, en quart lloc, més adhesió i menys rotació: una experiència de treball que satisfà necessitats psicològiques és, per definició, menys propensa a l'abandonament, fet que ataca directament la dimensió econòmica del problema (rotació del 35-50 %, ELA, 2023). Aquesta cadena causal —necessitats → motivació intrínseca → engagement → atenció → precisió i permanència— és la que la validació del capítol 8 contrasta empíricament.

Per què és útil aquí i no en qualsevol lloc. La gamificació no és una solució universal: la seva eficàcia depèn fortament del context i del disseny (Hamari et al., 2014), i mal aplicada pot resultar irrellevant o, pitjor, coercitiva. És útil a Kalax per dues raons específiques. Primera, perquè s'aplica sobre un problema que cap millora purament operativa no resol: l'eficiència l'aporta el mètode multi-order, però el desengament del treball repetitiu només es pot adreçar des de l'experiència. Segona, perquè es dissenya sota condicions que la literatura associa a la gamificació de qualitat: ancoratge en motivació intrínseca i no en punts buits (Burke, 2014), feedback informatiu i no punitiu, i caràcter opt-in que respecta la diversitat motivacional (Marczewski, 2015). És aquesta combinació —un problema real, un disseny teòricament fonamentat i una aplicació ètica— la que justifica la introducció de la capa, i no la simple voluntat d'«afegir joc» a la feina.

6.4.2 Aplicació del Serious Games Canvas a Kalax

El Serious Games Canvas de Garcia Pañella (2018) ha estat el marc estructurador del disseny de la capa de gamificació. La taula següent resumeix l'aplicació de cada bloc del canvas al cas concret de Kalax. La versió ampliada amb justificacions teòriques addicionals es presenta a l'Annex 1. La traducció visual del canvas en pantalles concretes de la interfície de l'Amphora Station —el disseny d'alta fidelitat de la capa de gamificació sobre el frontend de gwanlo— es presenta a l'Annex 4, on cada pantalla s'analitza en relació amb els blocs del SGC i amb les mecàniques de 6.4.3.

Bloc del SGC	Pregunta clau	Resposta a Kalax
1. Objectiu	Per què es gamifica?	Millorar l'engagement, reduir errors i mantenir el flow durant el sorting i el packing, sense recórrer a coerció ni a una capa superficial de punts i insígnies.
2. Audiència	Per a qui?	Persones operàries adultes de magatzem (aproximadament 22-55 anys, paritat de sexes com a objectiu), amb experiència física i operativa prèvia, alfabetització digital mitjana i diversitat de tipologies Hexad, amb predomini d'Achievers, Socialisers i Free Spirits.
3. Context	On i quan?	Magatzem 3PL d'Amphora Logistics, Barcelona. Jornades de 8 hores, torns variables, soroll ambient mitjà, il·luminació industrial. Sessions

		Kalax típiques de 25-50 minuts amb pauses.
4. Mecàniques	Què es fa?	Cinc mecàniques: progressió i XP, feedback multisensorial, capa social opt-in, desafiament adaptatiu i onboarding (vegeu 6.4.3).
5. Dinàmiques	Com es comporta el sistema?	Ritme cooperatiu printer-packer, micro-objectius emergents per comanda completada, sentit de progrés diari i setmanal, identitat persistent de l'operari/ària.
6. Estètiques i narrativa	Com se sent?	Estètica funcional i sòbria construïda sobre la identitat visual d'Amphora (avatars Amphorito), amb so i animacions no intrusius. El theming temàtic complet es reserva com a línia de futur (capítol 10) i, en tot cas, mai no seria obligatori.
7. Components tecnològics	Amb què?	Vue.js, LEDs adreçables sobre la graella, Web Audio API per als sons i la resta de l'arquitectura descrita a 6.2.
8. Mètriques	Com es mesura?	SUS, NASA-TLX, UEQ, PENS, Think-Aloud i entrevistes; mètriques objectives: temps per ordre, taxa d'error, throughput i inactivitat.
9. Resultats esperats i riscos	Què passa si funciona o no?	Esperat: confirmació de H1-H5, ROI positiu i reducció de rotació. Riscos: rebuig per percepció de control, fatiga sonora i efecte de novetat.

Taula 3. Serious Games Canvas (Garcia Pañella, 2018) aplicat a la capa de gamificació de Kalax. La versió completa amb justificacions teòriques addicionals es presenta a l'Annex 1.

Perfils de jugador/a (player types) a Kalax

El bloc d'audiència del Serious Games Canvas remet a una pregunta de disseny clàssica: no totes les persones juguen pel mateix motiu. La tradició del game design ho ha formalitzat des de la taxonomia de Bartle (1996) —que distingia entre Achievers, Explorers, Socializers i Killers en els mons multijugador— fins al model Hexad de Marczewski (2015), que adapta aquesta intuïció als sistemes gamificats no lúdics i és el que estructura el disseny de Kalax. Definir els perfils de jugador/a abans d'enumerar les mecàniques és important perquè justifica per què Kalax diversifica els seus estímuls i per què tota la capa social i competitiva és opt-in: un sistema que només premiés la classificació satisfaria l'Achiever i el Player, però alienaria el Free Spirit o el Philanthropist.

Els sis perfils Hexad, contextualitzats al magatzem i a la capa de gamificació + LBE de Kalax, es defineixen com segueix. L'Achiever cerca domini i progrés, i el motiven la progressió per XP, els rangs i el repte adaptatiu. El Player respon a les recompenses del sistema en si —punts, ratxes, objectius— i és el perfil que més aprofita el bucle de feedback immediat. El Socialiser es mou per la connexió interpersonal, que a Kalax es materialitza en la cooperació printer/packer, els kudos i els reptes d'equip. El Free Spirit valora l'autonomia i l'exploració, i troba el seu encaix en el caràcter opt-in i en la llibertat de configurar la pròpia experiència. El Philanthropist es realitza ajudant els altres, una disposició que la capa de kudos i el to no punitiu del sistema activen directament. I el Disruptor, motivat per qüestionar i reptar el sistema, és el perfil a priori més resistent a la gamificació; Kalax l'acomoda no imposant-li la capa lúdica i oferint-li reptes prou exigents perquè no la percebi com a infantil. La presència transversal del Location Based Entertainment —el feedback multisensorial ancorat en l'espai físic— travessa tots els perfils: la presència dissenyada no depèn de la tipologia motivacional, sinó que actua com a substrat experiencial comú.

Perfil (Hexad)	Motivació primària	Què el/la motiva a Kalax	Mecàniques que l'activen	Operaris/àries representatius
Achiever	Domini i progrés	Pujar de nivell i de rang; millorar la precisió	Progressió i XP; desafiament adaptatiu	OP02, OP08, OP10
Player	Recompenses del sistema	Guanyar XP, encadenar ratxes i assolir objectius	Progressió i XP; feedback multisensorial	OP01, OP06
Socialiser	Connexió interpersonal	Cooperar (printer/packer), donar i rebre kudos, reptes d'equip	Capa social opt-in	OP04, OP08
Free Spirit	Autonomia i exploració	Decidir què activa i explorar les opcions del sistema	Caràcter opt-in; desafiament adaptatiu	OP03, OP09
Philanthropist	Donar i ajudar	Acompanyar i reconèixer els companys/es	Capa social opt-in (kudos); to no punitiu	OP05, OP10
Disruptor	Qüestionar i reptar el sistema	Reptes prou exigents; marge per no participar-hi	Desafiament adaptatiu; opt-in que respecta la resistència	OP07

Taula 4. Perfils de jugador/a (model Hexad de Marczewski, 2015) aplicats a Kalax i a la seva capa de gamificació + LBE.

6.4.3 Les cinc mecàniques de gamificació de Kalax

Les cinc mecàniques s'han dissenyat directament a partir del SGC anterior i s'alineen amb les tres necessitats psicològiques bàsiques de la SDT (Deci & Ryan, 1985). Per a cada mecànica s'indica explícitament (a) la justificació teòrica, (b) la implementació tècnica i (c) on i com es visualitza dins del sistema. El disseny visual complet d'aquestes pantalles, construït sobre la interfície real de gwanlo, es presenta a l'Annex 4 (Figures A4.1–A4.6).

Mecànica 1 — Progressió i XP

Què fa: cada producte escanejat i correctament col·locat atorga punts d'experiència (XP) que s'acumulen en un perfil individual persistent. L'acumulació desbloqueja una escala de rangs amb noms propis de la identitat visual d'Amphora, representats pels avatars Amphorito.

Justificació teòrica: respon a la necessitat de competència de la SDT (Deci & Ryan, 1985): la persona adulta en context laboral, com qualsevol persona, busca sentir que el seu treball produeix un progrés visible. La persistència del perfil entre sessions és crítica per diferenciar-se de la gamificació superficial de punts i insígnies criticada per Burke (2014). A diferència d'una recompensa puntual, l'XP construeix una identitat narrativa de l'operari/ària al llarg del temps. Aquesta dimensió identitària és el que tendeix a motivar les persones adultes, més enllà de la novetat dels punts: una lliçó del cas Salesforce Trailhead és que la fidelització no s'explica tant per les insígnies com pel reconeixement en el perfil acumulat. Kalax replica aquest mecanisme.

On es visualitza: a la pantalla de l'Amphora Station, una capçalera persistent de gamificació mostra l'avatar, el nom, el rang i el nivell de l'operari/ària actiu/iva, més una barra de progrés cap al nivell següent (Annex 4, Figures A4.4–A4.6). Cada acció correcta dispara una microanimació de +XP que s'incrementa visualment sense interrompre el flux: +10 XP per producte ben col·locat i +40 XP addicionals per comanda completada, modulats per un multiplicador de ratxa que premia l'encadenament d'accions correctes; els errors no resten mai XP, en coherència amb el principi de feedback informatiu i no punitiu de 6.4.1. La progressió a llarg termini es consulta al perfil de l'operari/ària, una pestanya nova de gwanlo que presenta l'escala de cinc rangs basada en els avatars Amphorito —Amphorito (nivell 1), Runner (nivell 10), Capataz (nivell 25), Crack (nivell 50) i Leyenda (nivell 100)— i els objectius de dia, setmana i mes (Annex 4, Figures A4.1–A4.3). Al final de cada sessió, una pantalla de resum mostra el total guanyat i el progrés acumulat.

Mecànica 2 — Feedback multisensorial immediat

Què fa: cada acció correcta —escaneig, col·locació en slot, comanda completada— genera feedback visual simultani a la interfície (animació, canvi de color del LED físic) i sonor (efecte d'àudio distintiu). El feedback negatiu per error és informatiu i no punitiu: el sistema indica el slot correcte sense penalitzar punts ni interrompre el flux.

Justificació teòrica: nucli del disseny LBE. Replica el principi del Bottle Bank Arcade (Volkswagen, 2009), segons el qual el feedback multisensorial immediat pot transformar una acció rutinària en una experiència intrínsecament satisfactòria. Activa simultàniament l'autonomia (l'operari/ària percep que les seves accions tenen efecte directe sobre l'entorn) i la competència (el feedback confirma l'execució correcta), dues de les necessitats de la SDT (Deci & Ryan, 1985).

On es visualitza: el feedback es manifesta a tres nivells físics: (a) a la pantalla de l'Amphora Station, amb animacions sobre la cel·la del slot i la barra de progrés; (b) als LEDs físics sobre cada slot, que canvien de color en temps real (groc en assignar, verd en completar la comanda); i (c) als altaveus de l'estació, amb sons distintius per a cada esdeveniment. Aquesta triple capa eleva el disseny des d'una interfície gamificada convencional cap a una experiència LBE: el feedback no és únicament digital, sinó que incideix sobre l'espai físic del magatzem. Les Figures A4.4, A4.5 i A4.6 de l'Annex 4 mostren la seqüència completa d'aquest feedback en pantalla: la indicació put-to-light del slot de destinació, la confirmació de col·locació correcta amb el guany d'XP i la ratxa, i el tancament de comanda amb la coordinació amb el packer.

Mecànica 3 — Capa social opt-in

Què fa: un leaderboard voluntari de precisió —no de velocitat, per evitar errors per precipitació—, reptes d'equip setmanals i un sistema de kudos entre companys/es. La participació és explícitament voluntària i reversible en qualsevol moment.

Justificació teòrica: respon a la necessitat de relació de la SDT (Deci & Ryan, 1985) i activa l'impuls d'influència social descrit a Octalysis (Chou, 2015). La decisió d'opt-in respecta la diversitat motivacional documentada per Marczewski (2015) —no totes les tipologies Hexad responen bé a la competició pública— i diferencia Kalax del model coercitiu d'Amazon (Bloodworth, 2018).

On es visualitza: un menú lateral "Social" a la interfície de l'Amphora Station, visible només per a qui hagi activat la capa social. Conté el leaderboard setmanal (anonimitzable amb sobrenoms), un panell de reptes d'equip i un botó "Kudos" per reconèixer la feina d'un company/a, que s'afegeix al seu perfil. El comptador de kudos rebuts és un dels tres indicadors del perfil individual (Annex 4, Figures A4.1–A4.3), de manera que el reconeixement entre iguals queda incorporat a la identitat persistent de l'operari/ària sense exposar cap mètrica comparativa.

Mecànica 4 — Desafiament adaptatiu

Què fa: el sistema monitora en temps real la precisió i el temps de resposta de cada operari/ària i ajusta subtilment la dificultat dels reptes diaris per mantenir l'equilibri entre repte i habilitat que defineix l'estat de flow.

Justificació teòrica: deriva directament de la Flow Theory de Csikszentmihalyi (1990). Els operaris/àries amb alta precisió reben reptes més exigents que sostenen la motivació; els qui s'incorporen reben objectius assolibles que generen sentiment de progrés i eviten la frustració. Aquesta adaptabilitat és l'element que distingeix Kalax dels sistemes de gamificació estàtics, que tendeixen a perdre eficàcia un cop superats els nivells inicials, en línia amb l'observació que els efectes de la gamificació són sensibles al context i al disseny (Hamari et al., 2014).

On es visualitza: un panell "Repte d'avui" al perfil de l'operari/ària mostra l'objectiu personalitzat de la sessió. La progressió cap a l'objectiu s'actualitza en temps real, amb una microanimació en completar-lo. L'algoritme d'ajust és invisible per a l'usuari/ària; el que es veu és sempre un objectiu que sembla just, acompanyat de l'etiqueta explícita «Ajustado a tu ritmo», que fa transparent l'existència de l'adaptació sense revelar-ne el mecanisme. Les Figures A4.1–A4.3 de l'Annex 4 mostren com el mateix component presenta reptes de dificultat creixent —primer quantitativa i després qualitativa— a tres operaris/àries de rang molt diferent, i el repte queda també visible a la capçalera de la sessió en viu (Figures A4.4–A4.6).

Mecànica 5 — Onboarding gamificat

Què fa: un tutorial interactiu que guia els nous operaris/àries pel flux Kalax complet mitjançant missions progressives de complexitat creixent. El tutorial cobreix les tres etapes —picking, sorting i packing— i certifica que s'ha completat amb un distintiu visible al perfil.

Justificació teòrica: replica el model de Salesforce Trailhead adaptat al context físic del magatzem: convertir la formació inicial, sovint percebuda com a tediosa, en una seqüència de reptes amb recompenses immediates i progrés visible. Activa simultàniament la competència (cada missió superada confirma capacitat) i l'autonomia (la persona avança al seu ritme), dues de les necessitats de la SDT (Deci & Ryan, 1985).

On es visualitza: una pantalla d'onboarding modal apareix la primera vegada que un perfil nou inicia sessió, amb cinc missions. Cada missió té un encapçalament, una instrucció breu i un indicador d'acompliment. Una barra superior mostra el progrés general del tutorial. Un cop completat, l'operari/ària rep un distintiu visible al seu perfil i el tutorial deixa d'aparèixer automàticament, tot i que es pot consultar en qualsevol moment des del menú d'ajuda.

Projecció de la progressió: escenaris de jugador/a

Per fer tangible com es tradueix aquest disseny en l'experiència viscuda, val la pena projectar la progressió d'un operari/ària dins del sistema. L'economia de punts és deliberadament simple: cada producte ben col·locat atorga +10 XP i cada comanda completada +40 XP, modulats per un multiplicador de ratxa que premia l'encadenament d'accions correctes; els errors no resten mai XP (6.4.1). L'XP

acumulada desbloqueja una escala de cinc rangs —Amphorito (nivell 1), Runner (nivell 10), Capataz (nivell 25), Crack (nivell 50) i Leyenda (nivell 100)— segons una corba de progressió creixent (XP acumulada $\approx 250 \cdot N \cdot (N+1)$, on N és el nivell), de manera que cada nivell costa una mica més que l'anterior i la sensació de mestria es manté al llarg del temps.

La Taula 5 projecta tres escenaris de jugador/a —nivell baix, mitjà i alt— a tall de quadre de puntuació, mostrant com es veuria el perfil de cadascun en un moment donat. Els valors es deriven del sistema de progressió descrit i són coherents amb els tres perfils il·lustrats al dossier de disseny (Annex 4, Figures A4.1–A4.3)

Escenari	Rang (nivell)	XP acumulada (aprox.)	Precisió 30 d	Ratxa típica	Repte diari característic	Comandes/dia
Baix — nova incorporació	Amphorito (niv. 4)	≈ 5.000 XP	94,0 %	$\times 3$	«Completa 10 comandes seguides sense error»	25
Mitjà — operari/ària consolidat	Capataz (niv. 31)	≈ 248.000 XP	97,0 %	$\times 8$	«Completa 15 comandes sense error»	45
Alt — operari/ària expert	Crack (niv. 62)	≈ 976.500 XP	99,2 %	$\times 12$	«Tanca 3 jobs Kalax amb precisió perfecta»	60

Taula 5. Quadre de puntuació projectat per a tres escenaris de jugador/a (nivell baix, mitjà i alt), derivat del sistema de progressió de Kalax.

La Taula 6, complementàriament, simula la trajectòria d'una mateixa persona operària al llarg del temps, des de la incorporació fins als rangs alts, per il·lustrar com evoluciona l'experiència —i com el repte canvia de naturalesa, primer quantitativa i després qualitativa— a mesura que s'avança.

Fita temporal (aprox.)	Rang	Nivell	XP acumulada (aprox.)	Repte característic	Estat motivacional dominant
Setmana 1	Amphorito	1–4	0 – 5.000	Objectius assolibles de volum (10 comandes seguides)	Construcció de competència; evitar l'ansietat inicial
Mes 1	Runner	10	27.500	Volum sostingut amb precisió creixent	Sentit de progrés visible; primeres ratxes
Mes 3	Capataz	25	162.500	Precisió sostinguda (15 comandes sense error)	Mestria i pertinença; capa social activa
Mes 8	Crack	50	637.500	Repte qualitatiu (jobs amb precisió perfecta)	Domini expert; identitat consolidada
Any 1+	Leyenda	100	2.525.000	Reptes d'excel·lència i rol de referent/mentor	Autorealització; reconeixement entre iguals

Taula 6. Simulació de la progressió d'un operari/ària al llarg del temps a través dels cinc rangs de Kalax.

7. Desenvolupament

Mentre que el capítol anterior descriu *què* és el sistema Kalax i com s'ha dissenyat —el mètode operatiu, l'arquitectura tècnica i la capa de gamificació—, aquest capítol exposa *com* es va construir: la metodologia de treball adoptada, la gestió operativa del procés i la cronologia d'execució organitzada en sprints. El detall tècnic profund de la implementació (models de dades, estructures de repositori i configuracions) es recull a l'Annex 2.

7.1 Per què Scrum: justificació metodològica

El desenvolupament de Kalax es va organitzar seguint una metodologia àgil basada en Scrum. La tria respon a tres característiques del projecte que coincideixen amb els supòsits sobre els quals Scrum es fonamenta (Schwaber & Sutherland, 2020).

La primera és l'existència de requeriments parcialment desconeguts a l'inici. Kalax combina un mètode operatiu nou, una capa de hardware i una capa de gamificació, i cap d'aquestes tres dimensions admetia un disseny en cascada complet *a priori*, ja que cada decisió de disseny podia quedar invalidada per l'aprenentatge obtingut durant el prototipat. Scrum, com a metodologia empírica, assumeix aquesta incertesa com a punt de partida (Schwaber & Sutherland, 2020).

La segona és la necessitat de feedback freqüent. L'aprenentatge útil tendeix a produir-se exposant cada iteració a usuaris/àries reals al magatzem, i els sprints de dues setmanes amb la corresponent *sprint review* acotaven aquest cicle d'exposició.

La tercera és el doble alineament, acadèmic i empresarial. El TFG té dos clients implícits —el tribunal acadèmic i Amphora Logistics— amb prioritats parcialment diferents. Scrum proporciona artefactes (*sprint backlog*, *review* i retrospectiva) que van permetre validar paral·lelament amb tots dos sense duplicar esforços.

Scrum és una metodologia àgil, és a dir, basada en cicles iteratius curts, en l'adaptació al canvi com a valor prioritari per damunt del seguiment d'un pla fix, en el lliurament incremental de valor funcional i en la col·laboració constant amb el client per sobre de la negociació contractual (Manifest Agile, 2001). Es distingeix d'altres metodologies àgils com Kanban (sense iteracions fixes), XP (centrada en pràctiques d'enginyeria) o Lean Startup (centrada en la validació de mercat) per la seva estructura clara de rols, esdeveniments i artefactes.

7.2 Gestió operativa: Jira, Git i ritme

La gestió de tasques es va implementar mitjançant Jira, eina ja en ús a Amphora Logistics. Cada sprint es planificava en una sessió de *sprint planning* on es definien les tasques (*issues*), estimades en punts d'història i assignades al *sprint backlog*. Les tasques s'organitzaven en tres tipus principals: *User Stories*

per a funcionalitats orientades a l'operari/ària, *Technical Tasks* per a tasques d'infraestructura i integració, i *Bug* per al seguiment d'incidències. Cada tasca contenia una descripció, criteris d'acceptació explícits i un estat (*To Do*, *In Progress*, *In Review*, *Done*) visible per a tot l'equip.

Al final de cada sprint es duia a terme una *sprint review* amb l'equip d'Amphora per validar els entregables i una retrospectiva per identificar millores de procés. El control de versions es va portar amb Git i una estratègia de *feature branching*. L'ús de Jira com a eina central va afavorir la traçabilitat de cada decisió de desenvolupament i la coherència entre els objectius acadèmics i els requeriments operatius.

7.3 Estructura en sprints

El projecte es va estructurar en nou sprints de dues setmanes, organitzats en tres fases. La primera (sprints 1-3) va cobrir la recerca, la definició i la infraestructura base. La segona (sprints 4-6) va implementar el flux operatiu de Kalax. La tercera (sprints 7-9) va afegir la capa de hardware i de gamificació i va culminar amb la preparació de la validació.

Sprint 1 — Recerca, marc teòric i estat de l'art (setmanes 1-2)

L'objectiu era consolidar el marc teòric, completar l'estat de l'art i definir formalment els objectius i les hipòtesis, així com estudiar en paral·lel l'entorn tecnològic d'Amphora per identificar restriccions i oportunitats d'integració. Es van produir el marc teòric complet (LBE, Themed Entertainment, Flow, SDT, Octalysis, MDA, SGC), l'estat de l'art amb més de quaranta referències amb pros i contres explícits, el document SMART d'objectius i hipòtesis i l'informe d'anàlisi tècnic d'Amphora. El criteri d'acceptació, assolit en aquest sprint, requeria que el marc teòric justificués de forma sòlida la relació entre LBE, gamificació i picking, i que l'anàlisi tecnològica identificués clarament els punts d'integració de Kalax amb els sistemes existents.

Sprint 2 — Definició de milestones i disseny del sistema (setmanes 3-4)

Aquest sprint va traduir els objectius en un pla de desenvolupament concret i va definir l'arquitectura completa abans d'escriure cap línia de codi, incloent-hi l'avaluació d'algoritmes d'assignació dinàmica de slots i d'optimització de ruta. Es van elaborar el document d'arquitectura (diagrames de flux, model entitat-relació i especificació de l'API), una comparativa d'algoritmes d'assignació (*greedy*, FIFO, optimització per proximitat) amb la justificació corresponent, una comparativa d'algoritmes de ruta (*nearest neighbor*, 2-opt, S-shape) i el mapa complet de milestones. El criteri d'acceptació requeria que l'arquitectura permetés el desenvolupament independent de frontend i backend sense ambigüitats i que els algoritmes seleccionats quedessin justificats per criteris externs.

Sprint 3 — Infraestructura backend i base de dades (setmanes 5-6)

L'objectiu era construir el backend de Kalax —models de dades, lògica de negoci principal, API i integració amb Hermes—, atès que cap sprint posterior podia avançar sense una base estable. Es van desenvolupar l'esquema DynamoDB per a *jobs*, *handbags*, *slots* i esdeveniments, els endpoints REST principals (creació de *job*, assignació de slot, confirmació i tancament de comanda), la integració amb Hermes, una suite de tests unitaris i d'integració, i un entorn de desenvolupament local amb *mocks*. El criteri d'acceptació exigia que el backend superés la totalitat dels tests definits, que els endpoints responguessin correctament a totes les operacions en entorn de desenvolupament i que la latència de les operacions crítiques es mantingués per sota dels 100 ms.

Sprint 4 — Aplicació mòbil de picking (setmanes 7-8)

Aquest sprint va implementar l'aplicació mòbil React Native destinada als operaris/àries de picking, integrada amb el backend del sprint anterior. L'aplicació gestiona la fase prèvia a l'Amphora Station: la guia per ruta optimitzada i la generació de la *handbag*. Es va obtenir una aplicació React Native funcional amb escaneig HID, visualització de ruta, generació i confirmació de *handbag* i integració amb el backend, testejada en un dispositiu real al magatzem. El criteri d'acceptació requeria que un/una operari/ària completés una sessió de picking sencera sense errors de sistema ni necessitat d'assistència tècnica.

Sprint 5 — Amphora Station: flux digital de printing i packing (setmanes 9-10)

L'objectiu era implementar el flux complet de sorting i packing a la interfície Vue.js 3, encara sense la capa de hardware de LEDs, per validar la lògica cooperativa *printer/packer* i l'assignació dinàmica de slots exclusivament via interfície digital. Es va desenvolupar una interfície Vue.js 3 completa amb graella configurable, escaneig de *handbag*, assignació dinàmica, confirmació, tancament de comanda per slot, impressió ZPL i pantalla de finalització de *job*, amb integració amb el backend via Socket.IO en temps real. El criteri d'acceptació requeria que dos operaris/àries (*printer* i *packer*) completessin un cicle Kalax complet sense errors i que la interfície reflectís l'estat del sistema en temps real sense latències perceptibles.

Sprint 6 — Sistema de LEDs i feedback físic (setmanes 11-12)

Aquest sprint va integrar el sistema de LEDs WS2812B per slot, controlat via RS-485 Modbus RTU des de l'Amphora Station. Es va aconseguir un sistema de LEDs funcional per a cada slot, amb color dinàmic en resposta a l'escaneig (assignació), il·luminació verda en comanda completada i apagat en confirmació del *packer*, així com un *fallback* de continuïtat operativa en cas de fallada del sistema de LEDs. El criteri d'acceptació requeria una latència de LED inferior a 200 ms des de l'escaneig, l'estabilitat del sistema durant una sessió completa i la garantia que el *fallback* digital mantingués la continuïtat operativa davant una fallada del hardware.

Sprint 7 — Capa de gamificació: progressió i feedback (setmanes 13-14)

L'objectiu era implementar les mecàniques de progressió (XP i nivells) i el feedback multisensorial (sons i animacions) sobre la interfície existent. Es va desenvolupar un sistema d'XP amb persistència per perfil, la visualització de nivell i progrés a l'Amphora Station, una biblioteca de sons (escaneig correcte, comanda completada i error), animacions de transició i la integració del feedback sonor amb els LEDs. El criteri d'acceptació requeria que l'XP s'incrementés en temps real i es persistís correctament entre sessions, que els sons presentessin una latència inferior a 50 ms i que les animacions no tinguessin un impacte negatiu en el rendiment. El disseny d'alta fidelitat que va servir de referència per a aquest sprint i el següent es recull a l'Annex 4.

Sprint 8 — Capa social, desafiament adaptatiu i onboarding (setmanes 15-16)

Aquest sprint va implementar les mecàniques socials (*leaderboard* opt-in i *kudos*), el sistema de desafiament adaptatiu i l'onboarding. Es van desenvolupar un *leaderboard* de precisió opt-in amb actualització en temps real, un sistema de *kudos*, un algoritme d'ajust de reptes diaris basat en precisió i temps de resposta, i un tutorial d'onboarding interactiu de cinc missions. El criteri d'acceptació requeria que el *leaderboard* s'actualitzés en temps real, que un/una usuari/ària nou/nova completés el tutorial en menys de 15 minuts sense assistència i que l'algoritme adaptatiu assignés reptes diferenciats a perfils de precisió alta i baixa.

Sprint 9 — Integració, tests i preparació de la validació (setmanes 17-18)

L'objectiu era dur a terme els tests d'integració complets, resoldre bugs, establir el sistema en entorn de producció i preparar el protocol de tests d'usuari. Es van obtenir el sistema complet integrat i estable, el protocol de tests d'usuari (guió, qüestionaris SUS, NASA-TLX, UEQ i PENS, guió d'entrevista, full de recollida quantitativa i matriu de feedback), els formularis de consentiment informat conforme al RGPD i l'informe de bugs resolts i limitacions conegudes. El criteri d'acceptació requeria l'estabilitat del sistema en entorn real durant un mínim de 48 hores consecutives sense errors crítics, la revisió i l'aprovació del protocol per part de l'equip d'Amphora i la resolució dels bugs de prioritat alta i mitjana.

Vista en conjunt, l'estructura en sprints revela la lògica incremental del projecte; la Taula 7 en recull la síntesi completa. Les tres primeres iteracions construeixen el coneixement i la infraestructura (de la teoria al backend); les tres següents materialitzen el flux operatiu de Kalax (de l'aplicació mòbil al feedback físic de LEDs); i les tres últimes hi afegeixen la capa d'experiència i en preparen la validació empírica. Cap sprint no començava fins que l'anterior havia assolit els seus criteris d'acceptació, de manera que cap capa no es construïa sobre una base inestable —el backend abans que el flux, el flux digital abans que el hardware, i el sistema operatiu complet abans que la gamificació—. Aquesta disciplina incremental és la materialització pràctica del principi de modularitat que el capítol 9 identifica com una de les lliçons centrals del treball.

Sprint	Setmanes	Fase	Objectiu principal	Entregables clau
1	1–2	Recerca i definició	Consolidar el marc teòric, l'estat de l'art i els objectius SMART; analitzar l'entorn tècnic d'Amphora	Marc teòric, estat de l'art (>40 ref.), document SMART, informe d'anàlisi tècnic
2	3–4	Recerca i definició	Traduir els objectius en pla de desenvolupament i definir l'arquitectura completa	Document d'arquitectura, comparativa d'algoritmes d'assignació i ruta, mapa de milestones
3	5–6	Recerca i definició	Construir el backend, els models de dades, l'API i la integració amb Hermes	Esquema DynamoDB, endpoints REST, integració Hermes, suite de tests (<100 ms)
4	7–8	Flux operatiu	Implementar l'app mòbil de picking amb ruta optimitzada i handbag	App React Native amb escaneig HID, ruta i handbag, provada al magatzem
5	9–10	Flux operatiu	Implementar el flux digital de sortint i packing a l'Amphora Station (sense LEDs)	Interfície Vue.js 3 amb graella, assignació dinàmica, impressió ZPL, Socket.IO
6	11–12	Flux operatiu	Integrar el sistema físic de LEDs i el feedback put-to-light	LEDs per slot (<200 ms) i fallback de continuïtat operativa
7	13–14	Hardware i gamificació	Implementar la progressió (XP/nivells) i el feedback multisensorial	Sistema d'XP persistent, sons (<50 ms), animacions, visualització de nivell
8	15–16	Hardware i gamificació	Implementar la capa social, el desafiament adaptatiu i l'onboarding	Leaderboard opt-in, kudos, algoritme adaptatiu, tutorial de 5 missions
9	17–18	Hardware i gamificació	Integrar, testear, estabilitzar i preparar la validació	Sistema integrat estable (48 h), protocol de tests, consentiments RGPD

Taula 7. Resum dels nou sprints de desenvolupament de Kalax, organitzats en tres fases.

8. Resultats

Aquest capítol presenta els resultats de la validació empírica del sistema Kalax. La campanya es va dur a terme seguint el disseny i el conjunt d'instruments descrits al capítol 5: deu operaris/àries d'Amphora Logistics van completar, en un disseny within-subjects, les tres condicions experimentals —picking 1x1 (control, C1), Kalax sense gamificació (Kalax base, C2) i Kalax amb gamificació completa (Kalax+G, C3)—, amb l'ordre de C2 i C3 contrabalançat per controlar els efectes de pràctica i fatiga. Després de cada condició es van administrar el SUS, el NASA-TLX, l'UEQ i el PENS; el sistema va registrar de manera automàtica les mètriques objectives; i la sessió es va tancar amb una entrevista semi-estructurada, complementada amb un protocol Think-Aloud parcial durant la condició gamificada. La presentació segueix la lògica de la triangulació: primer l'evidència objectiva, després la subjectiva quantitativa i finalment la qualitativa, per concloure amb el contrast formal de les sis hipòtesis. Per coherència amb la naturalesa de la memòria, no s'hi reproduïxen les dades brutes individuals ni les transcripcions completes, sinó la seva lectura sintètica; el lector o la lectora que vulgui consultar el detall —els qüestionaris adaptats, les respostes ítem a ítem dels deu participants en les tres condicions, les transcripcions íntegres i la matriu de feedback— el trobarà recollit a l'Annex 3 (Instruments d'avaluació i dades de la campanya de validació), al qual es remet de manera específica al llarg del capítol.

Caracterització de la mostra

Abans de presentar els resultats, convé caracteritzar amb detall les deu persones operàries que van participar en la validació, atès que el seu perfil condiciona la lectura de les dades i, sobretot, la robustesa de les conclusions. La mostra es va seleccionar de manera intencionada buscant tres criteris: paritat de sexe, dispersió d'edat i d'antiguitat, i diversitat de tipologia motivacional segons el model Hexad (Marczewski, 2015). Les dades es presenten anonimitzades amb un codi de participant (OPxx); el detall complet figura a l'Annex 3.

La composició resultant és la següent: cinc dones i cinc homes (paritat plena); una edat mitjana de 34,8 anys, amb un rang ampli de 22 a 52 anys; una antiguitat mitjana a la posició de 38,9 mesos (de 5 a 96 mesos, és a dir, des de noves incorporacions fins a personal molt veterà); una experiència digital autoreportada mitjana de 3,3 sobre 5; i quatre dels deu participants amb experiència prèvia en gamificació. La Taula 8 en recull el detall individual.

Codi	Sexe	Edat	Antiguitat (mesos)	Exp. digital (1-5)	Exp. gamif. prèvia	Tipologia Hexad	Perfil professional
OP01	H	24	8	4	Sí	Player / Achiever	Jove nadiu digital, orientat a progressió
OP02	D	31	26	3	No	Achiever	Eficient, orientada a resultats
OP03	H	47	71	2	No	Free Spirit	Veterà, escèptic inicial
OP04	D	28	14	4	Sí	Socialiser	Sociable, orientada a l'equip
OP05	H	35	40	3	No	Philanthropist	Tranquil, dona suport als companys
OP06	D	22	5	5	Sí	Player	Nova incorporació, gran jugadora
OP07	H	52	96	2	No	Disruptor	El més veterà, crític amb les modes
OP08	D	39	55	3	No	Achiever / Socialiser	Polivalent
OP09	H	26	11	4	Sí	Free Spirit / Player	Li agrada experimentar
OP10	D	44	63	3	No	Philanthropist / Achiever	Sènior respectada

Taula 8. Caracterització sociodemogràfica i motivacional de la mostra de validació (N = 10).

Més enllà de les xifres, el perfil etnogràfic del grup és deliberadament heterogeni i representatiu de la plantilla real d'un magatzem 3PL. Hi conviuen perfils nadius digitals i orientats a la progressió (OP01, Marc, 24 anys, Player/Achiever; OP06, Laia, 22 anys, nova incorporació i gran jugadora) amb personal veterà i inicialment escèptic envers les «modes» (OP03, Jordi, 47 anys, 71 mesos d'antiguitat, Free Spirit; OP07, Sergi, 52 anys, 96 mesos, Disruptor, el més crític del grup). Entre tots dos extrems s'hi situen perfils orientats a resultats (OP02, Núria, Achiever), sociables i orientats a l'equip (OP04, Aina, Socialiser), de suport i acompanyament als companys (OP05, David, i OP10, Berta, Philanthropist) i polivalents (OP08, Marta, Achiever/Socialiser; OP09, Pol, Free Spirit/Player). Aquesta diversitat és metodològicament intencionada: la presència explícita dels perfils a priori més resistents a la gamificació —el Free Spirit i el Disruptor— endureix la prova, perquè si fins i tot aquests operaris/àries milloren i acaben preferint la condició gamificada (com efectivament succeeix, segons l'evidència qualitativa), la robustesa de la validació n'augmenta. Així mateix, el ventall d'antiguitat permet observar tant l'efecte de l'onboarding sobre les noves incorporacions com l'acceptació del sistema per part de qui porta anys treballant amb el mètode tradicional.

8.1 Eficiència operativa i precisió

Les mètriques objectives confirmen que el guany d'eficiència és substancial i, sobretot, que és estructural del mètode multi-order amb feedback put-to-light: apareix ja en la condició Kalax base, abans d'introduir cap element de joc. El temps per ordre es va reduir un 37 % en passar del mètode 1x1 a Kalax base, i la taxa d'error es va reduir a menys de la meitat. La capa de gamificació hi va afegir una millora addicional més modesta en rendiment brut, coherent amb la hipòtesi que el seu valor principal no rau en l'eficiència sinó en l'experiència.

Mètrica objectiva (mitjana)	C1 — 1x1	C2 — Kalax base	C3 — Kalax+G	Variació C1→C3
Temps per ordre (min)	3,05	1,92	1,72	-43,6 %
Taxa d'error (%)	3,14	1,51	1,03	-67,2 %
Throughput (comandes/h)	19,8	31,7	35,1	+77,3 %
Inactivitat (%)	14,7	9,2	6,2	-57,8 %

El desglossament d'aquestes mètriques per a cadascun dels deu operaris/àries i les tres condicions es recull a l'Annex 3, secció 8 (bloc C, mètriques objectives). La caiguda progressiva de la inactivitat —del 14,7 % en el mètode tradicional fins al 6,2 % en la condició gamificada— mereix una lectura específica: més enllà de l'eficiència, és la traça objectiva més clara d'un estat d'absorció sostinguda en la tasca, és a dir, de l'estat de flow que el disseny perseguia. La reducció d'errors, per la seva banda, és consistent amb el paper dels LEDs i els senyals sonors com a triggers de baixa ambigüitat en el sentit del model de Fogg: en eliminar la càrrega de recordar "on va cada producte", el sistema redueix l'oportunitat d'error per pèrdua d'atenció.

Complementàriament, el throughput —el nombre de comandes completades per hora— gairebé es duplica al llarg de les tres condicions: 19,8 comandes/h en el mètode 1x1, 31,7 en Kalax base i 35,1 en Kalax+G, un increment acumulat del 77,3 %. Aquesta xifra reforça la lectura anterior: el salt determinant es produeix amb el mètode multi-order (C1→C2), i la gamificació hi afegeix un guany addicional modest en rendiment brut però decisiu en experiència, com mostren les escales subjectives.

8.2 Usabilitat i càrrega de treball percebudes

Les escales subjectives mostren un patró net i monòton en els deu participants. El SUS va situar el mètode 1x1 per sota de la mitjana de la indústria (57), Kalax base clarament per sobre del llindar de referència de 68 punts (77) i Kalax+G en el rang qualitatiu d'excel·lència (89). El NASA-TLX, que mesura la càrrega de treball percebuda i en què un valor més baix és millor, va seguir la trajectòria inversa esperada.

Escala subjectiva (mitjana)	C1 — 1x1	C2 — Kalax base	C3 — Kalax+G
SUS (0–100; ↑ millor)	57,0	77,0	89,0
NASA-TLX RAW (0–100; ↓ millor)	62,8	46,6	37,0

El contrast intra-subjecte entre Kalax base i Kalax+G —que és el que aïlla l'efecte net de la gamificació— va donar un increment de dotze punts de SUS i una reducció de gairebé deu punts de càrrega percebuda. Les respostes ítem a ítem del SUS i les puntuacions per dimensió del NASA-TLX, per a cada participant i condició, es presenten a l'Annex 3, seccions 4 i 5 respectivament. Aquesta reducció es va concentrar en les dimensions de demanda mental, demanda temporal i frustració; la demanda física, en canvi, va repuntar lleugerament en les condicions Kalax pel treball localitzat a l'estació de sorting, però va quedar àmpliament compensada per la caiguda de la resta de dimensions. La lectura conjunta és que la capa de gamificació, lluny d'afegir complexitat indesitjada, va alleugerir la càrrega cognitiva subjectiva: el feedback no punitiu va contenir la frustració i el repte adaptatiu va mantenir l'esforç dins de la zona d'equilibri repte-habilitat.

El detall dimensional del NASA-TLX permet localitzar exactament on s'alleugereix la càrrega. La Taula 9 en recull el perfil complet per condició: la reducció de C2 a C3 es concentra en la frustració (–14,0 punts), la demanda mental (–12,5) i l'esforç (–12,0), mentre que la demanda física es manté pràcticament estable —fins i tot lleugerament superior en les condicions Kalax pel treball localitzat a l'estació de sorting—, fet coherent amb la naturalesa cognitiva, i no física, de l'aportació de la gamificació.

Dimensió NASA-TLX (0–100)	C1 (1x1)	C2 (Kalax base)	C3 (Kalax+G)	Δ C2→C3
RAW-TLX global	62,8	46,6	37,0	–9,6
Demanda mental	68,5	47,0	34,5	–12,5
Demanda física	54,5	58,5	54,0	–4,5
Demanda temporal	68,0	45,0	37,0	–8,0
Rendiment	52,0	34,0	27,5	–6,5
Esforç	69,0	51,0	39,0	–12,0
Frustració	66,0	44,0	30,0	–14,0

Taula 9. Perfil dimensional del NASA-TLX per condició (escala 0–100; valors més baixos indiquen menys càrrega).

8.3 Experiència d'usuari i satisfacció de necessitats psicològiques

L'UEQ i el PENS aporten la capa que les mesures d'usabilitat i càrrega no capturen. L'UEQ va revelar el contrast més il·lustratiu de tota la campanya: les qualitats pragmàtiques (perspicuïtat, eficiència, fiabilitat) ja milloren amb Kalax base, com correspon a un sistema operativament més eficient, però les qualitats hedòniques (estimulació i novetat) només despeguen amb la capa de gamificació, passant de territori negatiu en el mètode tradicional a valors excel·lents en la condició gamificada. El PENS, l'instrument més directament alineat amb el marc teòric, va confirmar la satisfacció creixent de les tres necessitats bàsiques de la Self-Determination Theory.

Dimensió d'experiència (mitjana)	C1 — 1x1	C2 — Kalax base	C3 — Kalax+G
UEQ — qualitats pragmàtiques (−3 a +3)	0,80	1,66	2,01
UEQ — qualitats hedòniques (−3 a +3)	−0,82	0,83	2,11
PENS — Autonomia (1–7)	2,92	4,54	5,70
PENS — Competència (1–7)	3,08	4,84	6,00
PENS — Relació (1–7)	2,84	4,06	5,32

El detall de les sis escales de l'UEQ i de les cinc subescales del PENS per operari/ària i condició, juntament amb els qüestionaris adaptats a Kalax, figura a l'Annex 3, seccions 6 i 7. El fet que la distància entre qualitats pragmàtiques i hedòniques s'inverteixi —de més d'un punt i mig a favor de les pragmàtiques en el mètode 1x1 fins a igualar-se en la condició gamificada— és l'evidència empírica que la gamificació aporta precisament el valor que les escales d'usabilitat clàssiques no mesuren. En el PENS, l'autonomia creix gràcies al caràcter opt-in de la capa lúdica; la competència, gràcies al sistema de progressió i al feedback en temps real; i la relació, la necessitat que més puja amb la gamificació, gràcies a la cooperació printer/packer i als elements socials. La pujada paral·lela de la subescala d'immersió aporta, a més, evidència de la presència dissenyada que persegueix l'enfocament de Location Based Entertainment.

El desglossament per escales ho confirma amb precisió. La Taula 10 mostra les sis escales de l'UEQ: les pragmàtiques parteixen ja de valors positius amb Kalax base i milloren moderadament amb la gamificació, però l'estimulació i la novetat experimenten els salts més grans de tot l'estudi (+3,01 i +2,84 respecte al control), passant de territori negatiu a valors d'excel·lència segons el benchmark de l'UEQ. La Taula 11, per la seva banda, detalla les cinc subescales del PENS: la competència és la més alta en termes absoluts (6,00 en C3), però la relació és la que més creix amb la gamificació (+1,26 de C2 a C3) i la immersió/presència registra el creixement més gran de tot l'instrument (+1,48), una evidència

empírica directa de la presència dissenyada que persegueix l'enfocament de Location Based Entertainment.

Escala UEQ	Bloc	C1 (1×1)	C2 (Kalax base)	C3 (Kalax+G)	Δ C3–C1
Atractiu	Global	0,51	1,45	2,14	+1,63
Perspicuïtat	Pragmàtica	1,05	1,68	2,00	+0,95
Eficiència	Pragmàtica	0,61	1,74	2,05	+1,44
Fiabilitat	Pragmàtica	0,73	1,55	1,98	+1,25
Estimulació	Hedònica	–0,86	0,92	2,15	+3,01
Novetat	Hedònica	–0,77	0,74	2,07	+2,84

Taula 10. Mitjanes de les sis escales de l'UEQ per condició (escala –3 a +3).

Subescala PENS	C1 (1×1)	C2 (Kalax base)	C3 (Kalax+G)	Δ C2→C3
Autonomia	2,92	4,54	5,70	+1,16
Competència	3,08	4,84	6,00	+1,16
Relació	2,84	4,06	5,32	+1,26
Immersió / Presència	2,59	4,18	5,66	+1,48
Controls intuïtius	3,12	5,06	5,97	+0,91

Taula 11. Mitjanes de les cinc subescales del PENS per condició (escala 1–7).

8.4 Evidència qualitativa

L'anàlisi del Think-Aloud i de les entrevistes va convergir amb les dades numèriques i en va aportar el perquè. El guió comú de divuit preguntes, les transcripcions íntegres de les tres entrevistes, les verbalitzacions del Think-Aloud i la graella de codificació temàtica completa es recullen a l'Annex 3, seccions 8 i 9. La codificació temàtica de les verbalitzacions va situar l'engagement, la competència i la satisfacció com a temes dominants, amb codis emergents significatius com ara la "competència sana", el "ritual d'equip" o l'"orgull pel nivell"; els episodis de frustració van ser escassos i de baixa intensitat, atribuïbles al caràcter informatiu —no punitiu— del feedback d'error. Les entrevistes, seleccionades per diversitat de perfil motivacional, van il·lustrar com un mateix sistema satisfà necessitats diferents: la nova incorporació va destacar la dràstica reducció de la corba d'aprenentatge gràcies a l'onboarding gamificat; el veterà inicialment escèptic va valorar l'autonomia i la baixa càrrega per damunt de tot; i el perfil sociable va situar la capa social i la cooperació com el factor decisiu.

"Kalax va convertir la feina que em feia por en la feina que tinc ganes de fer." (Operària nova, perfil Player)

"Hi vaig entrar pensant que era una moda i n'he sortit reconeixent que em fa la feina més fàcil sense obligar-me a res." (Operari veterà, perfil Free Spirit)

"Kalax va convertir un grup de gent que treballava sola en un equip de veritat, i a mi això m'ha fet estimar la feina." (Operària, perfil Socialiser)

Especialment rellevant per a la robustesa de la validació és que els perfils a priori més resistents a la gamificació —el veterà escèptic i l'operari més crític amb les modes— també van millorar en totes les mesures i van acabar preferint la condició gamificada, tot i mantenir reserves honestes sobre elements concrets com el so o la densitat d'estímul visual. Aquest matís reforça l'encert de l'estratègia opt-in derivada del model Hexad i la diferència ètica respecte dels sistemes de gamificació coercitius: el sistema no imposa la capa de joc, sinó que la fa disponible perquè cada persona n'ajusti l'exposició.

8.5 Contrast d'hipòtesis i lectura integrada

La triangulació de les tres famílies de mesures permet contrastar les sis hipòtesis de treball amb resultats convergents. La síntesi quantitativa completa que sustenta aquest contrast, amb el quadre de totes les mesures per condició, es troba a l'Annex 3, secció 10.

Hipòtesi	Resultat	Veredict
H1 — Kalax redueix el temps per ordre vs 1x1	−37 % ja amb Kalax base; −43,6 % amb Kalax+G	Confirmada
H2 — Kalax redueix la taxa d'error vs 1x1	−52 % amb Kalax base; −67 % amb Kalax+G	Confirmada
H3 — La gamificació incrementa el SUS vs Kalax base	+12 punts (77 → 89), millora monòtona en els 10 participants	Confirmada
H4 — La gamificació redueix el NASA-TLX vs Kalax base	−9,6 punts (46,6 → 37,0), concentrats en càrrega mental i frustració	Confirmada
H5 — La gamificació incrementa el PENS (A/C/R) vs Kalax base	Autonomia, competència i relació pugen en els 10 participants	Confirmada
H6 — Preferència qualitativa per Kalax+G	Preferència unànime a les entrevistes, inclosos els perfils escèptics	Confirmada

La lectura integrada dels resultats sosté una conclusió amb dos vessants que convé no confondre. D'una banda, Kalax base ja justifica el sistema des del punt de vista operatiu: el gruix de la millora d'eficiència i de precisió és estructural del mètode multi-order amb put-to-light i no depèn de cap element de joc. De l'altra, la capa de gamificació justifica el seu cost des del punt de vista humà: aporta el salt decisiu en usabilitat, en experiència hedònica, en reducció de càrrega percebuda i en satisfacció de les necessitats psicològiques, que és precisament la dimensió —l'engagement del treball repetitiu— que cap millora purament operativa resol i que constitueix el problema de partida d'aquest treball. En conjunt, els resultats validen empíricament el Kalax Framework com a model de disseny replicable i confirmen la hipòtesi central de la memòria: l'aplicació de principis de Location Based Entertainment i

de gamificació al treball manual repetitiu millora l'engagement, redueix els errors i genera un impacte mesurable, dins d'un disseny modular, opt-in i èticament diferenciat dels models coercitius.

9. Conclusions

Aquest capítol tanca el treball recollint, de manera explícita i estructurada, el grau d'acompliment de la recerca. En primer lloc es resol, una a una, cadascuna de les sis hipòtesis formulades, contrastant-les amb l'evidència empírica obtinguda en la validació. A continuació s'avalua el grau d'assoliment de cada objectiu específic i de l'objectiu general establerts al capítol 2. Finalment, s'exposen les lliçons apreses al llarg del procés i es delimita la contribució del treball, tant en el vessant acadèmic com en el pràctic. El fil argumental que travessa tot el capítol és un matís central que cal anticipar: l'eficiència operativa és una propietat estructural del mètode *multi-order* —és a dir, emergeix ja en la configuració de Kalax base, sense gamificació—, mentre que la capa de gamificació aporta de manera diferencial el valor humà del sistema (usabilitat percebuda, experiència hedònica, reducció de la càrrega, satisfacció de les necessitats psicològiques bàsiques, *engagement* i preferència).

9.1. Resolució de les hipòtesis

La validació es va dissenyar com un estudi *within-subjects* amb tres condicions: el picking tradicional 1x1 com a control (C1), Kalax base sense gamificació (C2) i Kalax amb la capa de gamificació activada (C3). Aquesta arquitectura experimental permet aïllar dos efectes diferents: el del mètode *multi-order* en si (comparant C2 amb C1) i el de la gamificació (comparant C3 amb C2). Les sis hipòtesis es resolen a continuació a la llum d'aquesta distinció.

H1 — Reducció del temps per ordre

La primera hipòtesi sostenia que Kalax, en les seves dues configuracions (C2 i C3), redueix el temps per ordre respecte del picking 1x1 (C1). Les dades recollides ho confirmen: el temps mitjà per ordre va passar de 3,05 minuts en C1 a 1,92 minuts en C2 i a 1,72 minuts en C3, fet que representa una reducció del 37 % entre el control i Kalax base i d'un 44 % entre el control i Kalax amb gamificació. El throughput va seguir la mateixa tendència, amb un increment des de 19,8 comandes/hora en C1 fins a 31,7 en C2 i 35,1 en C3. **H1 queda confirmada.** La interpretació rellevant és que el gruix de la millora temporal s'explica per la transició al model *multi-order* cooperatiu *printer/packer*: el salt més gran es produeix entre C1 i C2. La gamificació afegeix una millora addicional més modesta, atribuïble probablement a l'efecte del repte adaptatiu i de la retroacció sobre el ritme de treball, però no és la font primària del guany d'eficiència.

H2 — Reducció de la taxa d'error

La segona hipòtesi plantejava que Kalax (C2 i C3) redueix la taxa d'error respecte del picking 1x1. La taxa d'error es va reduir des del 3,14 % en C1 fins a l'1,51 % en C2 i fins a l'1,03 % en C3, de manera que la precisió millora a mesura que s'avança cap a la configuració completa. **H2 queda confirmada.** Igual que

en el cas de H1, l'efecte més substancial s'observa en el pas de C1 a C2: el feedback *put-to-light* (LEDs i so) sobre la graella física redueix la càrrega de cerca i de desambiguació, que és una de les fonts principals d'error en el picking manual. La gamificació hi aporta una reducció complementària de l'error, coherent amb una atenció més sostinguda derivada d'un *engagement* més alt, però, de nou, la millora estructural prové del mètode i no de la capa lúdica.

H3 — Increment de la usabilitat percebuda (SUS)

La tercera hipòtesi afirmava que la gamificació (C3) incrementa la usabilitat percebuda mesurada amb l'escala SUS (Brooke, 1996) respecte de Kalax base (C2). La puntuació SUS va augmentar des de 57,0 punts en C1 i 77,0 en C2 fins a 89,0 en C3. **H3 queda confirmada.** Aquest resultat és especialment significatiu perquè el contrast rellevant per a la hipòtesi és el de C3 davant C2: encara que C2 ja assolía un nivell de usabilitat acceptable, la capa de gamificació eleva la puntuació fins a un rang excel·lent. A diferència de H1 i H2, aquí l'aportació de la gamificació no és complementària sinó central: la usabilitat percebuda és un constructe experiencial sobre el qual el disseny lúdic, l'onboarding i la retroacció multisensorial incideixen directament.

H4 — Reducció de la càrrega de treball (NASA-TLX)

La quarta hipòtesi sostenia que la gamificació (C3) redueix la càrrega de treball percebuda, mesurada amb el NASA-TLX (Hart i Staveland, 1988), respecte de Kalax base (C2). La puntuació NASA-TLX RAW va disminuir des de 62,8 en C1 fins a 46,6 en C2 i fins a 37,0 en C3, en una escala on els valors més baixos indiquen una càrrega menor. **H4 queda confirmada.** El resultat és coherent amb la idea que una experiència més estructurada, amb objectius clars i retroacció immediata —condicions associades a l'estat de flux (Csikszentmihalyi, 1990)—, redueix la percepció d'esforç i de frustració malgrat que el ritme objectiu de treball és més alt. La gamificació, doncs, no augmenta la càrrega subjectiva tot i incrementar el rendiment, sinó que la disminueix, fet que constitueix una de les troballes més rellevants del treball.

H5 — Satisfacció de les necessitats psicològiques bàsiques (PENS)

La cinquena hipòtesi plantejava que la gamificació (C3) incrementa la satisfacció de les necessitats d'autonomia, competència i relació, mesurades amb l'escala PENS (Ryan et al., 2006) i fonamentades en la teoria de l'autodeterminació (Deci i Ryan, 1985), respecte de Kalax base (C2). Les tres subescales milloren de manera consistent en el pas de C2 a C3: l'autonomia passa de 4,54 a 5,70 (sobre 7), la competència de 4,84 a 6,00 i la relació de 4,06 a 5,32; els tres valors parteixen de nivells molt baixos en C1 (2,92, 3,08 i 2,84, respectivament). **H5 queda confirmada.** Aquest resultat valida el nucli teòric del disseny: les mecàniques de progressió, repte adaptatiu i social opt-in s'havien concebut específicament

per nodrir les tres necessitats de la SDT, i l'evidència indica que ho aconsegueixen. És, juntament amb H3 i H4, on l'aportació de la gamificació esdevé més clarament diferencial respecte del mètode base.

H6 — Preferència qualitativa per Kalax amb gamificació

La sisena hipòtesi anticipava una preferència qualitativa per Kalax amb gamificació a les entrevistes. L'evidència qualitativa recollida mitjançant el protocol *Think-Aloud* (Ericsson i Simon, 1993) i les entrevistes semiestructurades convergeix en aquesta direcció, en coherència amb les dades d'experiència mesurades amb l'UEQ (Laugwitz et al., 2008): les qualitats pragmàtiques van pujar de 1,66 en C2 a 2,01 en C3, però el salt més notable es va donar en les qualitats hedòniques, que van passar de 0,83 en C2 a 2,11 en C3 (i des d'un valor negatiu de -0,82 en C1). **H6 queda confirmada.** La preferència expressada pels operaris/àries no se sustenta principalment en l'eficiència —que ja reconeixien en C2— sinó en la dimensió hedònica i d'experiència, fet que reforça la lectura global del treball.

Síntesi del matís central

El conjunt de les sis hipòtesis confirmades dibuixa una imatge nítida i internament coherent. L'eficiència i la precisió (H1 i H2) són propietats estructurals del mètode *multi-order*: apareixen ja en Kalax base i constitueixen el motiu pel qual el sistema té sentit operatiu i de negoci. La gamificació (H3 a H6), en canvi, és la responsable del valor humà del sistema: incrementa la usabilitat percebuda, redueix la càrrega de treball, satisfà les necessitats psicològiques bàsiques i genera una experiència preferida pels usuaris/àries. Aquesta separació analítica és, probablement, la conclusió més important del treball, perquè evita atribuir a la gamificació un mèrit que correspon al disseny operatiu i, alhora, en delimita amb precisió la contribució real: no fa que la feina sigui més ràpida, sinó que fa que sigui millor de fer.

Aquesta lectura troba el seu suport empíric més nítid en l'User Experience Questionnaire (Laugwitz et al., 2008). L'UEQ mostra una dissociació inequívoca: les qualitats pragmàtiques (perspicuïtat, eficiència, fiabilitat) ja milloren amb Kalax base —com correspon a un sistema operativament més eficient—, mentre que les qualitats hedòniques (estimulació i novetat) només es disparen amb la capa de gamificació, passant de territori clarament negatiu en el picking 1x1 (-0,82) a valors d'excel·lència en la condició gamificada (2,11). De fet, la distància entre totes dues meta-dimensions s'inverteix: de +1,62 a favor de les pragmàtiques en el mètode 1x1 fins a -0,10 en la condició gamificada, on les hedòniques superen lleugerament les pragmàtiques. Aquesta inversió és l'evidència que la gamificació aporta precisament el valor que les escales d'usabilitat clàssiques no capten: no fa el sistema més usable —ja ho era amb Kalax base— sinó més desitjable i estimulante, que és el factor que sosté l'adhesió a llarg termini i la prevenció de la fatiga rutinària. És per això que aquesta conclusió, sovint relegada al detall dels resultats, ha de formar part del nucli de les conclusions del treball: l'aportació diferencial de la capa de gamificació és, abans que res, de naturalesa hedònica i experiencial.

9.2. Grau d'assoliment dels objectius

El capítol 2 va desplegar l'objectiu general en cinc objectius específics. A continuació se n'avalua l'acompliment.

Anàlisi teòrica. L'objectiu d'establir el marc teòric que fonamenta la proposta es considera assolit plenament. El treball integra la literatura de *Location Based Entertainment* i *Themed Entertainment* amb les teories de motivació (la teoria de l'autodeterminació de Deci i Ryan, 1985; la teoria del flux de Csikszentmihalyi, 1990; el model de comportament de Fogg, 2009) i amb els frameworks de gamificació de referència (Octalysis de Chou, 2015; el model MDA de Hunicke et al., 2004; la tipologia Hexad de Marczewski, 2015), articulats finalment a través del Serious Games Canvas (Garcia Pañella, 2018). Aquesta integració constitueix el fonament conceptual del Kalax Framework.

Disseny del sistema. L'objectiu de dissenyar un mètode de picking alternatiu al model 1x1 es considera assolit. Es va definir un mètode de *multi-order picking* i *packing* amb un model cooperatiu *printer/packer*, retroacció *put-to-light* sobre una graella física configurable i una arquitectura tècnica de quatre capes. El disseny resultant no només és coherent sobre el paper, sinó que es va poder implementar i desplegar.

Disseny de la gamificació. L'objectiu de dissenyar una capa de gamificació centrada en l'usuari/ària es considera assolit. Es van definir cinc mecàniques —progressió i XP, feedback multisensorial, social opt-in, repte adaptatiu i onboarding— derivades de manera traçable de les necessitats de la SDT i dels principis del flux, i estructurades amb el Serious Games Canvas. La confirmació de H3 a H6 valida a posteriori l'encert d'aquest disseny.

Implementació del prototip. L'objectiu d'implementar un prototip funcional es considera assolit. El sistema —format pels components *hermes*, *gwanlo* (l'Amphora Station) i *aaxaa*— es va desenvolupar i posar en funcionament en condicions reals de magatzem a Amphora Logistics, fet que va permetre una validació amb dades de treball autèntiques i no merament simulades.

Validació amb usuaris. L'objectiu de validar empíricament la proposta es considera assolit. Es va dur a terme un estudi *within-subjects* amb deu operaris/àries i un disseny de mètodes mixtos que combina mètriques objectives, instruments quantitatius subjectius (SUS, NASA-TLX, UEQ i PENS) i evidència qualitativa (*Think-Aloud* i entrevistes). L'estudi va proporcionar evidència suficient per contrastar les sis hipòtesis.

Objectiu general. L'objectiu general —investigar com els principis de LBE i de la gamificació centrada en l'usuari/ària poden generar un impacte mesurable en entorns de treball físic i repetitiu, i materialitzar-ho en un model de disseny replicable— es considera assolit. El treball no només respon afirmativament a la pregunta de recerca amb evidència empírica, sinó que en deixa un producte tangible i transferible: el Kalax Framework, juntament amb el sistema operatiu que el concreta.

9.3. Lliçons apreses

El procés de recerca i desenvolupament ha deixat un seguit d'aprenentatges que convé explicitar, perquè formen part del valor del treball tant com els resultats numèrics.

En el pla del disseny, la lliçó més clara és la conveniència de separar la capa operativa de la capa motivacional. El fet que l'eficiència emergeixi del mètode i el valor humà de la gamificació no és un detall analític sinó un principi de disseny: permet desplegar primer un sistema operatiu sòlid i afegir-hi després la capa lúdica sense que aquesta hagi de carregar amb la responsabilitat del rendiment. Aquesta modularitat ha estat clau per a la viabilitat del projecte.

En el pla tècnic, la implementació en condicions reals va obligar a prendre decisions d'arquitectura orientades a la robustesa i a la sincronització en temps real entre components heterogenis (backend, estació física amb LEDs i impressió, i aplicació mòbil). L'experiència confirma que un prototip que ha de funcionar en un magatzem actiu imposa restriccions molt diferents de les d'un prototip de laboratori, i que aquestes restriccions han d'informar el disseny des de l'inici.

En el pla metodològic, el disseny *within-subjects* amb tres condicions es va revelar especialment adequat per aïllar l'efecte de la gamificació del de l'eficiència estructural. La combinació de mètodes mixtos va resultar igualment valuosa: les dades quantitatives van quantificar la magnitud dels efectes, mentre que l'evidència qualitativa en va il·luminar les causes i va donar veu als operaris/àries.

Pel que fa a la diversitat motivacional, el treball amb la tipologia Hexad (Marczewski, 2015) va recordar que no existeix una resposta única a la gamificació: diferents perfils responen de manera diferent a cada mecànica, i una capa lúdica madura ha de preveure aquesta heterogeneïtat. Aquesta constatació, tot i que la mostra no en permetia una anàlisi diferencial, ha quedat anotada com una direcció de treball futur.

Finalment, en el pla ètic, el contrast amb el model coercitiu documentat en el cas d'Amazon (Bloodworth, 2018) ha estat orientador. La decisió de dissenyar les mecàniques socials i competitives com a *opt-in*, i no com a mecanismes de pressió o vigilància, encarna una posició explícita: la gamificació del treball físic pot perseguir el benestar de qui treballa en lloc d'instrumentalitzar-lo. Mantenir aquesta frontera ha estat una lliçó de disseny tant com de responsabilitat.

9.4. Contribució al coneixement

Contribució acadèmica

La contribució acadèmica principal és l'establiment d'un pont entre dos cossos de literatura que fins ara havien tingut poc contacte: el de l'entreteniment basat en la localització i el disseny temàtic, d'una banda, i el de la gamificació aplicada al treball físic i repetitiu, de l'altra. La revisió sistemàtica de Warmelink et al. (2020) havia identificat la manca d'estudis empírics rigorosos sobre gamificació en contextos laborals operatius com un buit destacat de la disciplina. Aquest treball hi contribueix aportant evidència empírica, recollida en un entorn de treball real i amb instruments validats, sobre l'efecte diferenciat del mètode operatiu i de la capa de gamificació. La separació empírica entre el guany d'eficiència estructural i el guany experiencial constitueix, en si mateixa, una aportació conceptual que pot orientar futures recerques en l'àmbit.

Contribució pràctica

La contribució pràctica és el sistema Kalax, desplegat operativament a Amphora Logistics i validat amb dades de treball reals. Més enllà del producte concret, el treball destil·la un model de disseny replicable —el Kalax Framework— articulat al voltant de dos principis transferibles: la modularitat entre la capa operativa i la capa de gamificació, i el caràcter *opt-in* de les mecàniques socials i competitives. Aquests dos principis fan que el framework no quedi lligat al cas particular d'Amphora, sinó que es pugui adaptar a altres processos de magatzem i a altres contextos de treball manual en logística i sectors adjacents. El Kalax Framework es proposa, així, com un model replicable que combina viabilitat operativa i respecte pel benestar de qui hi treballa.

10. Línies de futur

Els resultats i les limitacions d'aquest treball obren diverses línies de continuïtat que es descriuen a continuació. Algunes responen a restriccions de la validació actual i d'altres projecten el Kalax Framework cap a nous contextos d'aplicació.

10.1. Mesura longitudinal

La validació actual cobreix sessions agudes, de manera que no permet pronunciar-se sobre la durabilitat dels efectes observats. Una mesura repetida a 3, 6 i 12 mesos permetria avaluar la sostenibilitat de l'*engagement* i identificar el possible efecte de *novelty bias* característic dels sistemes gamificats, és a dir, l'atenuació de la resposta a mesura que la novetat es dilueix. Una segona fase de recerca podria incorporar aquesta dimensió longitudinal amb un panell estable d'operaris/àries.

10.2. Extensió a altres processos de magatzem

El framework Kalax s'ha dissenyat per al *sorting* i el *packing*, però els seus principis —*multi-tasking*, feedback multisensorial i gamificació opt-in— són potencialment aplicables a altres processos del magatzem, com ara el *replenishment*, l'inventari cíclic o la recepció de mercaderia. Una extensió natural del treball consistiria a validar el framework en aquests contextos, fet que permetria avaluar-ne la generalitat més enllà del cas estudiat.

10.3. Estudi de moderadors individuals

Amb una mostra més gran ($N \geq 50$) seria possible analitzar com les diferents tipologies de la taxonomia Hexad (Marczewski, 2015) responen de manera diferencial a cada mecànica. Aquesta dada permetria avançar cap a una personalització de la capa de gamificació per perfil motivacional, en lloc d'una configuració uniforme per a tota la plantilla, i donaria resposta a la heterogeneïtat motivacional que el treball actual només ha pogut constatar de manera qualitativa.

10.4. Investigació sobre l'ètica de la gamificació laboral

El contrast amb el cas d'Amazon documentat per Bloodworth (2018) planteja preguntes obertes sobre la frontera entre la motivació i la coerció en la gamificació del treball. Kalax encarna una proposta concreta d'ètica del disseny, basada en el caràcter opt-in de les mecàniques socials i competitives; una línia de recerca futura podria sistematitzar aquesta proposta en un conjunt de principis o un codi ètic transferible a altres sistemes de gamificació laboral.

10.5. Open-sourcing parcial del framework

Subjecte a un acord amb Amphora Logistics, una part del Kalax Framework —especialment la capa de hardware i la lògica de gamificació— es podria publicar com a referència oberta per a operacions logístiques de mida mitjana. La contribució acadèmica i pràctica del treball seria considerablement més àmplia si aquest pas es completés, ja que facilitaria la replicació independent del model i n'estendria l'abast més enllà del context original.

10.6. Narrativa temàtica i theming de l'experiència

Una línia de futur transversal, ja anticipada a l'estat de l'art, és el desplegament de la capa de narrativa temàtica i theming inspirada en el Themed Entertainment (storyliving, environmental storytelling): temes visuals i sonors intercanviables —per exemple, una estació espacial o una cuina professional— que personalitzarien la paleta, els sons, les icones i la nomenclatura dels rangs sense alterar cap element funcional de la interfície. Durant el desenvolupament es va decidir deliberadament excloure aquesta capa de l'abast del prototip: construir una narrativa completa afegia una complexitat considerable i el risc de desviar l'atenció del personal i comprometre la productivitat (capítol 3). El seu disseny futur hauria de ser estrictament opt-in i reversible, coherent amb la diversitat motivacional Hexad observada a la validació, i caldria avaluar-lo amb el mateix protocol del capítol 5 per mesurar-ne l'efecte diferencial sobre la dimensió hedònica (UEQ) i la immersió (PENS) sense penalitzar l'eficiència ni la precisió.

Bibliografia

La bibliografia segueix l'estil APA 7a edició. Cada referència inclou la data de consulta. Les referències s'agrupen mentalment en cinc blocs — marc teòric de LBE i Themed Entertainment; gamificació i motivació; logística, picking i ergonomia; metodologia àgil i de recerca; i fonts d'indústria/professionals — però es presenten ordenades alfabèticament per facilitar-ne la consulta.

Althoff, T., White, R. W., & Horvitz, E. (2016). Influence of Pokémon Go on physical activity: Study and implications. *Journal of Medical Internet Research*, 18(12), e315. <https://doi.org/10.2196/jmir.6759> [Consultat el 18 de febrer de 2026]

Amphora Logistics. (2024). *Logistics for ecommerce*. <https://amphoralogistics.com> [Consultat el 22 de febrer de 2026]

Atlassian. (2024). *Jira Software: Agile project management*. <https://www.atlassian.com/software/jira> [Consultat el 05 de març de 2026]

Bafadhal, A. S., Hanafiah, M. H., Anuar, F. I., & Lestari, D. K. (2025). Psychological drivers of attitude and revisit intentions in virtual reality rides at amusement parks: Telepresence, flow and enjoyment. *Cogent Social Sciences*, 11(1), Article 2556480. <https://doi.org/10.1080/23311886.2025.2556480> [Consultat el 18 de juny de 2026]

Bahr, W., Mavrogenis, V., & Sweeney, E. (2022). Gamification of warehousing: Exploring perspectives of warehouse managers in the UK. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 25(3), 247–259. <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1892042> [Consultat el 21 de febrer de 2026]

Bartle, R. (1996). Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs. *Journal of MUD Research*, 1(1). [Consultat el 15 de juny de 2026]

Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., Hunt, A., Jeffries, R., Kern, J., Marick, B., Martin, R. C., Mellor, S., Schwaber, K., Sutherland, J., & Thomas, D. (2001). *Manifesto for Agile Software Development*. <https://agilemanifesto.org/> [Consultat el 10 de març de 2026]

Bloodworth, J. (2018). *Hired: Six months undercover in low-wage Britain*. Atlantic Books. [Consultat el 20 de febrer de 2026]

Brooke, J. (1996). SUS: A quick and dirty usability scale. A P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 189–194). Taylor & Francis. <https://www.usabilitynet.org/trump/documents/Suschart.doc> [Consultat el 01 de març de 2026]

Burke, B. (2014). *Gamify: How gamification motivates people to do extraordinary things*. Bibliomotion. [Consultat el 14 de febrer de 2026]

- Choi, K., & Nam, Y. (2024). Do presence and authenticity in VR experience enhance visitor satisfaction and museum re-visitation intentions? *International Journal of Tourism Research*, 26(4), Article e2737. <https://doi.org/10.1002/jtr.2737> [Consultat el 18 de juny de 2026]
- Chou, Y. (2015). *Actionable gamification: Beyond points, badges, and leaderboards*. Octalysis Media. <https://yukaichou.com/gamification-book/> [Consultat el 14 de febrer de 2026]
- Clarke, A., & Mitchell, M. (2017). *Location Based Entertainment: Industry overview and trends*. Entertainment Technology Press. [Consultat el 11 de febrer de 2026]
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row. [Consultat el 13 de febrer de 2026]
- Csikszentmihalyi, M. (1997). *Finding flow: The psychology of engagement with everyday life*. Basic Books. [Consultat el 13 de febrer de 2026]
- Dale, S., Harris, P., & Wilson, J. (2020). Physical presence and tangible interaction in location-based experiences. *Journal of Leisure Research*, 51(3), 112–128. <https://doi.org/10.1080/00222216.2020.1717394> [Consultat el 11 de febrer de 2026]
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Plenum Press. [Consultat el 13 de febrer de 2026]
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01 [Consultat el 13 de febrer de 2026]
- Deterding, S. (2012). Gamification: Designing for motivation. *Interactions*, 19(4), 14–17. <https://doi.org/10.1145/2212877.2212883> [Consultat el 12 de febrer de 2026]
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining gamification. A *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference* (pp. 9–15). ACM. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040> [Consultat el 12 de febrer de 2026]
- Doran, G. T. (1981). There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *Management Review*, 70(11), 35–36. [Consultat el 18 de febrer de 2026]
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data* (Rev. ed.). MIT Press. [Consultat el 03 de març de 2026]
- European Logistics Association (ELA). (2023). *Annual European Logistics Workforce Report 2023*. ELA Publications. <https://www.elalog.eu/> [Consultat el 14 de febrer de 2026]

Fogg, B. J. (2009). A behavior model for persuasive design. A *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology* (article 40). ACM. <https://doi.org/10.1145/1541948.1541999> [Consultat el 14 de febrer de 2026]

Ford, S. (2022). Experience design and the characteristics of location-based entertainment. A *Proceedings of the XXXIII ISPIIM Innovation Conference* (Copenhagen, Denmark). ISPIIM. [Consultat el 11 de febrer de 2026]

Frayling, C. (1993). Research in art and design. *Royal College of Art Research Papers*, 1(1), 1–5. https://researchonline.rca.ac.uk/384/3/frayling_research_in_art_and_design_1993.pdf [Consultat el 09 de febrer de 2026]

Gallup. (2024). *State of the global workplace: 2024 report*. Gallup Press. <https://www.gallup.com/workplace/349484/state-of-the-global-workplace.aspx> [Consultat el 22 de febrer de 2026]

Garcia Pañella, O. (2018). *Serious Games Canvas: Un marc per al disseny de jocs amb propòsit* [Material docent intern]. Escola de Noves Tecnologies Interactives (ENTI-UB). [Consultat el 02 de març de 2026]

Ghost Town Games. (2016). *Overcooked* [Videojoc]. Team17. <https://www.ghosttowngames.com> [Consultat el 19 de febrer de 2026]

Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does gamification work? — A literature review of empirical studies on gamification. A *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 3025–3034). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377> [Consultat el 15 de febrer de 2026]

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, 52, 139–183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9) [Consultat el 01 de març de 2026]

Hunicke, R., LeBlanc, M., & Zubek, R. (2004). MDA: A formal approach to game design and game research. A *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*. AAAI Press. <https://users.cs.northwestern.edu/~hunicke/MDA.pdf> [Consultat el 14 de febrer de 2026]

Huotari, K., & Hamari, J. (2017). A definition for gamification: Anchoring gamification in the service marketing literature. *Electronic Markets*, 27(1), 21–31. <https://doi.org/10.1007/s12525-015-0212-z> [Consultat el 12 de febrer de 2026]

IAAPA. (2022). *Global theme and amusement park outlook*. IAAPA Research. <https://www.iaapa.org/resources/research/global-theme-amusement-park-outlook> [Consultat el 11 de febrer de 2026]

Jenkins, H. (2004). Game design as narrative architecture. A N. Wardrip-Fruin & P. Harrigan (Eds.), *First person: New media as story, performance, and game* (pp. 118–130). MIT Press. [Consultat el 16 de febrer de 2026]

Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. *A HCI and Usability for Education and Work (USAB 2008)*, LNCS 5298 (pp. 63–76). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6 [Consultat el 04 de març de 2026]

Liang, J., Zhao, L., Zhang, S., & Lu, L. (2025). How does immersive technology drive real tourism? Technology acceptance and cultural foundation. *SAGE Open*, 15(2). <https://doi.org/10.1177/21582440251330012> [Consultat el 18 de juny de 2026]

Lucas Systems, & Wakefield Research. (2024). *Voice of the warehouse worker: Gamification study*. Lucas Systems. <https://www.lucasware.com/gamified-workplaces-entice-84-of-warehouse-workers/> [Consultat el 22 de febrer de 2026]

Manhattan Associates. (2024). *Warehouse workforce insights report 2024*. <https://www.manh.com/resources> [Consultat el 14 de febrer de 2026]

Marczewski, A. (2015). *Even ninja monkeys like to play: Gamification, game thinking & motivational design*. Gamified UK / CreateSpace. <https://www.gamified.uk/> [Consultat el 15 de febrer de 2026]

Microsoft Corporation. (2011). *The Language Quality Game* [Cas d'estudi]. Microsoft Research. <https://www.microsoft.com/en-us/research/> [Consultat el 20 de febrer de 2026]

Morschheuser, B., Hassan, L., Werder, K., & Hamari, J. (2018). How to design gamification? A method for engineering gamified software. *Information and Software Technology*, 95, 219–237. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.11.009> [Consultat el 15 de febrer de 2026]

Niantic, Inc. (2016). *Pokémon GO* [Aplicació mòbil]. <https://pokemongolive.com/> [Consultat el 18 de febrer de 2026]

Nicholson, S. (2015). *Peeking behind the locked door: A survey of escape room facilities* [White Paper]. <http://scottnicholson.com/pubs/erfacwhite.pdf> [Consultat el 17 de febrer de 2026]

Parasuraman, R., Warm, J. S., & See, J. E. (2011). Brain systems of vigilance. A R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 221–256). MIT Press. [Consultat el 14 de febrer de 2026]

Pine, B. J., & Gilmore, J. H. (2011). *The experience economy* (Updated ed.). Harvard Business Review Press. [Consultat el 10 de febrer de 2026]

Ponis, S. T., Plakas, G., Agalinos, K., Aretoulaki, E., Gayialis, S. P., & Andrianopoulos, A. (2020). Augmented reality and gamification to increase productivity and job satisfaction in the warehouse of the future. *Procedia Manufacturing*, 51, 1621–1628. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.226> [Consultat el 21 de febrer de 2026]

- Punchdrunk. (2011). *Sleep No More* [Experiència immersiva]. McKittrick Hotel, Nova York. <https://www.punchdrunk.com/work/sleep-no-more-new-york/> [Consultat el 17 de febrer de 2026]
- Ryan, R. M., Rigby, C. S., & Przybylski, A. (2006). The motivational pull of video games: A self-determination theory approach. *Motivation and Emotion*, 30(4), 344–360. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9051-8> [Consultat el 04 de març de 2026]
- Salesforce.com, Inc. (2014). *Trailhead* [Plataforma digital]. <https://trailhead.salesforce.com/> [Consultat el 20 de febrer de 2026]
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide*. Scrum.org. <https://scrumguides.org/scrum-guide.html> [Consultat el 10 de març de 2026]
- Statista. (2024). *Global e-commerce logistics market size 2018–2028*. Statista Research Department. <https://www.statista.com/> [Consultat el 12 de febrer de 2026]
- Themed Entertainment Association. (2022). *TEA/AECOM theme index and museum index: The global attractions attendance report*. TEA. <https://www.teaconnect.org/> [Consultat el 11 de febrer de 2026]
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning* (4th ed.). John Wiley & Sons. [Consultat el 16 de febrer de 2026]
- Tondello, G. F., Wehbe, R. R., Diamond, L., Busch, M., Marczewski, A., & Nacke, L. E. (2016). The Gamification User Types Hexad Scale. A *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play (CHI PLAY '16)* (pp. 229–243). ACM. <https://doi.org/10.1145/2967934.2968082> [Consultat el 15 de febrer de 2026]
- Volkswagen Group. (2009a). *The Fun Theory: Bottle Bank Arcade* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zSiHjMU-MUo> [Consultat el 16 de febrer de 2026]
- Volkswagen Group. (2009b). *The Fun Theory: Piano Stairs* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=2lXh2n0aPyw> [Consultat el 16 de febrer de 2026]
- Walt Disney Imagineering. (1996). *Walt Disney Imagineering: A behind the dreams look at making the magic real*. Disney Editions. [Consultat el 10 de febrer de 2026]
- Warmelink, H., Koivisto, J., Mayer, I., Vesa, M., & Hamari, J. (2020). Gamification of production and logistics operations: Status quo and future directions. *Journal of Business Research*, 106, 331–340. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.09.011> [Consultat el 21 de febrer de 2026]
- Winkelhaus, S., Grosse, E. H., & Glock, C. H. (2022). Job satisfaction: An explorative study on work characteristics changes of employees in Intralogistics 4.0. *Journal of Business Logistics*, 43(1), 1–26. <https://doi.org/10.1111/jbl.12296> [Consultat el 14 de febrer de 2026]

Witch Beam. (2021). *Unpacking* [Videojoc]. Humble Games. <https://www.witch.beam.games> [Consultat el 19 de febrer de 2026]

Young, J. (2018). *Designing themed entertainment: Principles and practice*. Themed Entertainment Association Press. [Consultat el 10 de febrer de 2026]

Zagal, J. P., & Bruckman, A. (2007). Designing online environments for collaborative learning. A *Proceedings of CSCL 2007*. International Society of the Learning Sciences. [Consultat el 19 de febrer de 2026]

Zimmerman, J., Forlizzi, J., & Evenson, S. (2007). Research through design as a method for interaction design research in HCI. A *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2007)* (pp. 493–502). ACM. <https://doi.org/10.1145/1240624.1240704> [Consultat el 09 de febrer de 2026]

Annex 1 — Serious Games Canvas de Kalax (versió estesa)

El Serious Games Canvas (SGC), desenvolupat per Garcia Pañella (2018) en el marc docent de l'Escola de Noves Tecnologies Interactives, és el marc d'ordenació conceptual emprat en aquest TFG per articular el disseny de la capa lúdica de Kalax. A diferència dels frameworks de game design més purament estètics o estructurals com l'MDA (Hunicke et al., 2004) o l'Octalysis (Chou, 2015), el SGC s'orienta específicament a jocs amb propòsit —formació, salut, sostenibilitat, productivitat— i requereix explicitar la finalitat última (*impact*) abans del disseny lúdic. D'aquesta manera, cada decisió de joc s'orienta a una finalitat real i mesurable.

Aquest annex desenvolupa els nou blocs del SGC aplicats a Kalax amb un nivell de detall que la taula del capítol 6 no permet sintetitzar. Per a cada bloc s'hi explicita la formulació original del SGC, la concreció a Kalax, la justificació teòrica i les implicacions operatives. L'objectiu és deixar constància documental que cap mecànica del sistema no és un afegit estètic, sinó una decisió de disseny ancorada en el marc teòric integrat al capítol 2.

Bloc 1 — Impact (impacte intencionat)

Formulació SGC: quin canvi concret en el món real ha de produir l'experiència? El bloc *Impact* és el primer del canvas perquè condiciona tots els altres: un serious game sense un *impact* clar és, per definició, un joc sense propòsit.

Concreció a Kalax: l'impacte intencionat és triple i mesurable. En primer lloc, la reducció de la rotació anual de personal operatiu, alineada amb la dada de Gallup (2024) que documenta un 51% menys de rotació en empreses amb alt *engagement*. En segon lloc, la reducció de la taxa d'error de picking, atès que cada error genera costos directes (devolucions, ports inversos, atenció al client) i indirectes (pèrdua de confiança del client final). En tercer lloc, la millora de la satisfacció subjectiva de l'operari/ària, mesurada amb instruments validats (SUS, UEQ, PENS) no com a indicador moral abstracte, sinó com a predictor de retenció a mitjà termini.

Justificació teòrica: la prioritització de l'impacte sobre la mecànica és consistent amb la crítica de Burke (2014) a la gamificació basada en punts, insígnies i taules de classificació (PBL) deslligada d'un canvi real al món. Kalax es defineix per l'impacte, no pels punts.

Bloc 2 — Players (audiència)

Formulació SGC: qui són els jugadors/es, i quines són les seves característiques demogràfiques, motivacionals i contextuals?

Concreció a Kalax: operaris/àries de magatzem d'Amphora Logistics, amb un perfil generalista (no especialitzats en una sola família de productes). Les variables demogràfiques, estimades a partir del

cens intern, indiquen una edat compresa entre 22 i 55 anys, una distribució de gènere aproximadament equilibrada, una experiència logística prèvia heterogènia (de 0 a més de 15 anys) i una familiaritat digital mitjana (ús quotidià d'escàners i terminals industrials, però no necessàriament d'aplicacions de consum modernes). Pel que fa a la tipologia motivacional, el model Hexad (Marczewski, 2015) permet preveure una combinació de *Players* (motivats per la recompensa extrínseca), *Socialisers* (motivats per la relació), *Achievers* (motivats per la competència) i *Free Spirits* (motivats per l'autonomia), amb pocs *Disruptors* o *Philanthropists* purs.

Implicació de disseny: la heterogeneïtat motivacional justifica el caràcter *opt-in* de les mecàniques socials. Imposar la competició a un perfil *Socialiser* pur o a un *Free Spirit* podria resultar contraproductiu, ja que la Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985) prediu una pèrdua de motivació intrínseca quan l'autonomia es percep amenaçada.

Bloc 3 — Context (entorn d'ús)

Formulació SGC: en quin entorn físic, social i temporal s'utilitza l'experiència?

Concreció a Kalax: magatzem industrial d'Amphora a Barcelona; entorn físic amb soroll moderat, il·luminació adequada però no òptima per a pantalles, presència simultània de múltiples operaris/àries en línia de visió i jornades de 4 a 8 hores de durada amb pics de demanda estacional (Black Friday, campanya nadalenca, rebaixes). L'entorn social és jeràrquic (coordinadors/ores, encarregats/ades, operaris/àries), però amb una forta cultura de col·laboració horitzontal, documentada per l'equip de Recursos Humans d'Amphora. L'entorn temporal es caracteritza per torns fixos, amb una franja diària d'alta intensitat (matí) i franges més lentes (tarda).

Implicació de disseny: el feedback ha de ser robust al soroll ambiental (combinació visual i sonora) i no ha de requerir la lectura llarga de text. La capa social ha d'evitar l'exposició pública de mètriques individuals per no contaminar la cultura col·laborativa existent.

Bloc 4 — Learning Objectives / Behavioural Change Goals

Formulació SGC: quin aprenentatge o canvi de comportament concret s'espera induir?

Concreció a Kalax: (a) l'adopció correcta del flux Kalax, és a dir, el pas del model mental 1x1 al model mental multi-order; (b) la reducció d'errors per inatenció, mitjançant el desenvolupament d'una atenció sostinguda i precisa durant tota la jornada; (c) la interiorització del rol cooperatiu, entenent que *printer* i *packer* formen una unitat de rendiment i no dos rols independents; i (d) la reducció del temps d'onboarding per a operaris/àries nous, amb l'objectiu de passar dels 5-7 dies actuals als 2-3 dies, en línia amb la reducció del 50% que documenta Salesforce Trailhead.

Justificació teòrica: aquests objectius es deriven directament de la Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985): autonomia (l'operari/ària comprèn el sistema i no l'executa cegament), competència (mestria progressiva visible) i relació (cooperació amb el company/a).

Bloc 5 — Mechanics (mecàniques)

Formulació SGC: quines mecàniques de joc —accions, regles, interaccions— implementa l'experiència?

Concreció a Kalax: cinc mecàniques nuclears, detallades al capítol 6 i resumides aquí: (1) progressió i XP, (2) feedback multisensorial, (3) capa social *opt-in*, (4) desafiament adaptatiu (*dynamic difficulty adjustment*) i (5) onboarding gamificat. Cada mecànica respon a un dels objectius del bloc 4 i a una de les necessitats psicològiques bàsiques formulades per la Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985); cap mecànica no s'incorpora pel simple fet que funcioni en altres jocs. La concreció visual d'aquestes mecàniques sobre la interfície de l'Amphora Station es documenta a l'Annex 4.

Implicació de disseny: la traçabilitat un a un entre mecànica i objectiu garanteix que cap mecànica no sigui prescindible i que cap objectiu no quedi orfe. Si en una iteració futura s'observés que una mecànica no contribueix al seu objectiu assignat, s'eliminaria; no es mantindria per inèrcia ni per raons estètiques.

Bloc 6 — Dynamics (dinàmiques emergents)

Formulació SGC: quines dinàmiques emergents —patrons de comportament a mitjà i llarg termini— s'espera observar?

Concreció a Kalax: una cooperació estable entre *printer* i *packer* (model Overcooked), una mestria progressiva visible (corba d'aprenentatge en XP), una identitat de progrés (sensació de continuïtat entre sessions), una competència sana (*kudos* entre companys/es, en lloc de taules de classificació individuals coercitives).

Justificació teòrica: les dinàmiques constitueixen el nivell intermedi del model MDA (Hunicke et al., 2004); no s'implementen directament, sinó que emergeixen de la combinació de mecàniques. El disseny no controla les dinàmiques, sinó que les fa probables.

Bloc 7 — Aesthetics (estètiques i emocions)

Formulació SGC: quines emocions, sensacions i estats anímics ha d'evocar l'experiència?

Concreció a Kalax: el flow (Csikszentmihalyi, 1990) com a estètica principal; durant les sessions de pic d'activitat, l'operari/ària hauria d'experimentar absorció, pèrdua del sentit del temps i fusió entre acció i consciència. Com a estètiques secundàries es preveuen el *fellowship* (sensació de companyonia amb el rol oposat), el *discovery* (la variació del repte adaptatiu i la progressió aporten novetat) i la *submission* (la repetició estructurada esdevé un ritual reconfortant en lloc de generar tedi).

Implicació de disseny: el flow s'afavoreix amb l'equilibri entre repte i habilitat (sustentat pel desafiament adaptatiu) i amb el feedback immediat (sustentat pels LEDs i els sons). Sense aquestes dues mecàniques, el flow difícilment seria assolible.

Bloc 8 — Technology (tecnologia)

Formulació SGC: quina tecnologia suporta l'experiència?

Concreció a Kalax: l'stack tecnològic, ja descrit al capítol 5, comprèn React Native (mòbil de picking), Python amb DynamoDB (backend), Vue.js 3 amb Flask i Socket.IO (Amphora Station), Raspberry Pi amb Zebra ZPL (estació física) i WS2812B amb ESP32 i RS-485 Modbus RTU (hardware de feedback). Cap tecnologia no és accidental: cada elecció respon a un requeriment funcional (latència, robustesa industrial, escalabilitat) o no funcional (cost, mantenibilitat, integració amb els sistemes existents).

Implicació de disseny: la separació entre l'Entorn 3 (Amphora Station digital) i l'Entorn 4 (Amphora Station amb hardware) permet validar el flux digital abans d'introduir la complexitat física dels LEDs. Aquesta decisió arquitectònica redueix el risc tècnic global del projecte.

Bloc 9 — Evaluation (avaluació)

Formulació SGC: com es mesurarà si l'experiència produeix l'impacte intencionat?

Concreció a Kalax: quatre escales validades —SUS (Brooke, 1996), NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988), UEQ (Laugwitz et al., 2008) i PENS (Ryan et al., 2006)—, tres instruments qualitatius (Think-Aloud (Ericsson & Simon, 1993), entrevista semiestructurada i matriu de feedback) i tres indicadors operatius (temps per ordre, taxa d'error i throughput). El disseny és *within-subjects*, amb $N \geq 10$ operaris/àries, una anàlisi no paramètrica (Friedman i Wilcoxon amb correcció de Bonferroni) i la recollida de variables demogràfiques i d'experiència per controlar la variància entre subjectes.

Justificació teòrica: la triangulació entre dades quantitatives i qualitatives és metodològicament necessària, ja que cap dels dos tipus de dada no és suficient per separat. Les escales detecten l'efecte i les entrevistes l'expliquen; sense les dues fonts, la conclusió quedaria epistemològicament feble.

Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada del sistema Kalax: hermes, gwanlo i aaxaa

Aquest annex documenta amb detall tècnic l'arquitectura del sistema Kalax tal com s'ha implementat a Amphora Logistics. Mentre que l'explicació del funcionament i de les decisions de disseny es presenta al capítol 6, aquest annex serveix com a referència d'enginyeria: enumera els tres repositoris que conformen el sistema, descriu el llenguatge i la finalitat de cadascun, llista les funcions Lambda, les taules DynamoDB, els components frontend i els endpoints HTTP/Socket.IO implicats, i proposa un conjunt d'imatges complementàries que la memòria definitiva incorporarà.

El sistema Kalax no és una única aplicació monolítica, sinó la coordinació de tres bases de codi independents que es comuniquen mitjançant APIs HTTP, esdeveniments Socket.IO i missatges SQS. Les tres bases de codi — hermes, gwanlo i aaxaa — pertanyen a Amphora Logistics i estaven en producció abans de l'arribada de Kalax; el treball del TFG ha consistit, entre d'altres, a estendre cadascuna amb les capes funcionals necessàries perquè el flux multi-order de Kalax travessi tota la cadena, des de la generació del job fins a l'empaquetat final.

L'annex s'estructura en cinc seccions: A2.1 cobreix hermes (backend Python sobre AWS Lambda), A2.2 cobreix gwanlo (programari de l'Amphora Station sobre Raspberry Pi), A2.3 cobreix aaxaa (aplicació mòbil React Native), A2.4 presenta un diagrama d'integració tri-repositori amb el flux end-to-end d'una sessió Kalax, i A2.5 recull les figures i captures que es proposa incorporar a la memòria definitiva per il·lustrar cadascun dels components descrits.

Nota sobre la nomenclatura. Els noms hermes, gwanlo i aaxaa són identificadors interns d'Amphora i no responen a acrònims tècnics. S'utilitzen al llarg de l'annex tal com apareixen al control de versions, a Jira i a la documentació interna de l'empresa, per garantir la traçabilitat entre la memòria i el codi font real.

Repositori	Rol al sistema Kalax	Llenguatge principal	Plataforma
hermes	Backend de lògica de negoci i persistència	Python 3.11	AWS Lambda + DynamoDB (eu-central-1)
gwanlo	Amphora Station: UI de classificació i empaquetatge, control de hardware	Python (Flask) + JavaScript (Vue 2.7)	Raspberry Pi (Roma/Berlin)
aaxaa	Aplicació mòbil del picker i pantalles de gestió de Kalax	TypeScript (React Native 0.79.3)	Android (tauleta industrial)

Taula A2.1. Resum dels tres repositoris que conformen el sistema Kalax, amb el seu rol funcional, llenguatge principal i plataforma d'execució.

A2.1 hermes — Capa de lògica de negoci sobre AWS Lambda

A2.1.1 Llenguatge, descripció i objectiu del repositori

hermes és el monorepo backend d'Amphora Logistics. Conté aproximadament 189 microserveis desplegats com a funcions AWS Lambda (Python 3.11, amb algun servei a 3.8 i 3.12) sobre Serverless Framework 3.39.0 i regió eu-central-1. La persistència és pràcticament tota a Amazon DynamoDB, amb una capa fina sobre el client oficial i un ORM intern anomenat AbstractTypedDatabase que valida amb Pydantic v2 cada lectura i escriptura. Els microserveis s'organitzen en divuit dominis funcionals (aaxaa, admin, billing, curriers, ecommerce, integrations, etc.) i no es poden invocar mútuament fora d'aquest límit; quan un domini necessita lògica d'un altre, ho fa exclusivament a través d'invoke_lambda, fet que en garanteix l'aïllament.

En el context del sistema Kalax, hermes és el responsable de tres funcions crítiques: (a) generar els picking jobs de tipus Kalax a partir del backlog de comandes, agrupant comandes compatibles segons les regles de cada client; (b) mantenir l'estat persistent del Kalax — la graella física, els slots i els productes que s'han classificat en cada moment — a la taula stock-containers; i (c) actuar com a font de veritat per a les altres dues bases de codi, tot exposant endpoints HTTP que tant l'Amphora Station (gwanlo) com l'aplicació mòbil (aaxaa) consumeixen en temps real.

Tota interacció amb el backend passa per un decorador (@serverless_handler) que aporta observabilitat OpenTelemetry, traces a Axiom i categorització d'errors uniforme. Aquesta uniformitat ha facilitat que la depuració de Kalax en producció — on conflueixen scanners, impressores, LEDs i una xarxa Wi-Fi industrial — sigui traçable des d'un únic punt.

A2.1.2 Funcions Lambda específiques de Kalax

Kalax es materialitza al backend en dos serveis principals — aaxaa_picking i aaxaa_tools — més tres handlers HTTP integrats al domini gwanlo per a la comunicació amb l'Amphora Station. La taula següent enumera els handlers més rellevants amb la seva responsabilitat operativa.

Handler	Camí (src/functions/...)	Responsabilitat
create_kalax_jobs	aaxaa/picking/picking_jobs/kalax_jobs.py	Agrupa comandes compatibles i crea registres PickingJobs amb metodologia kalax_job; calcula la ruta òptima de picking via shortest_path2.
prepare_kalax_jobs	aaxaa/picking/utils/prepare_jobs.py	Orquestra la creació de jobs Kalax per a totes les empreses afiliades a un magatzem; aplica zones via reapply_zones i respecta JobCustomizations.

v2_B_async_wh_jobs_task	aaxaa/picking/v2_B_async_wh_jobs_task.py	Lambda asíncrona que prepara els jobs de tots els mètodes en seqüència de prioritat; gestiona el bloqueig per empresa, neteja jobs no assignats previs i fixa el timeout segons context.
KalaxPickingTask	aaxaa/picking/utils/picking_tasks/kalax_task.py	Wrapper que adapta el job Kalax al model de tasques uniformes consumit per les apps client.
get_picking_job_task_handler	aaxaa/picking/handlers/get_picking_job_task_handler.py	Endpoint HTTP que retorna jobs filtrats per metodologia (kalax_job); consumit per l'app mòbil de picker.
assign_handbag	aaxaa/picking/assign_handbag.py	Lliga una handbag (KalaxJobHandbag) al job en el moment d'assignar-lo a una persona operària.
initialize_handbag	aaxaa/picking/initialize_handbag.py	Inicialitza la handbag amb collection_type = kalax_job.
finish_handbag	aaxaa/picking/finish_handbag.py	Tanca la handbag i consolida els productes classificats.
finish_order	aaxaa/picking/finish_order.py	Marca una comanda individual com a picked dins d'un job multi-order.
get_kalax	gwanlo/control/get_kalax.py	Retorna l'estat complet de la graella Kalax d'una estació (slots + ocupants).
scan_kalax_slot	gwanlo/control/scan_kalax_slot.py	Registra un producte escanejat en un slot de la graella; actualitza children i estat de slot.
set_kalax_in_use	gwanlo/control/set_kalax_in_use.py	Activa o desactiva el bloqueig de la graella durant una sessió activa per evitar edicions concurrents.
create_kalax / resize_kalax / delete_kalax	aaxaa/tools/utils/kalax/	Operacions de cicle de vida del contenidor Kalax (creació, redimensió, eliminació); invocades des de l'app mòbil mitjançant un esdeveniment Socket.IO.
get_all_kalax / get_kalax	aaxaa/tools/utils/kalax/	Consultes per a l'app de gestió: llistar Kalax d'un magatzem o obtenir-ne un en detall.
empty_kalax_grid_spot	aaxaa/tools/utils/kalax/	Buida un slot concret de la graella, mantenint-la operativa.

Taula A2.2. Funcions Lambda implicades en el cicle de vida d'un Kalax. Tots els camins són relatius a src/functions/ dins del repositori hermes.

A2.1.3 Model de dades a DynamoDB

El sistema Kalax persisteix l'estat en cinc taules DynamoDB compartides amb la resta del domini de picking. Cap taula no és exclusiva de Kalax — totes són reutilitzades per altres metodologies (massiu, individual, base, set, set1, B2B, transferència, kits) —, però cada taula codifica explícitament la variant Kalax mitjançant constants i discriminadors. Tot accés es fa a través de classes API en `src/common/api/`, mai des dels handlers directament.

PickingJobs (warehouse-picking-jobs). Taula nuclear que registra cada job de picking. Per a Kalax, els registres es generen amb identificador "KLX_<timestamp_de_la_comanda_més_antiga>_<iso_now>" i metodologia `kalax_job`. Conté la ruta calculada amb el solver de camí més curt, les comandes agrupades, les empreses implicades i, un cop assignat el job, l'email de la persona operària i la handbag associada.

Camp	Tipus	Rol
warehouse_id	String	Partition key — magatzem propietari del job.
id	String	Sort key — identificador únic format KLX_<order_time>_<iso_now>.
methodology	String	Discriminador del mètode de picking; per a Kalax val "kalax_job".
company_id	Set<String>	Empreses client amb comandes incloses al job.
orders_items	Map	Diccionari {order_id: {company_id, items_list}} amb el contingut de cada comanda.
picking_path	List	Ruta calculada — cada pas: {product_id, slots, location_quantity, quantity}.
extra_picking_path	List	Ruta complementària per a materials de packaging i marketing.
carriers	Set<String>	Carriers implicats (per a impressió posterior d'etiquetes).
tags	List	Etiquetes operatives (prioritat, fragility, etc.).
assigned_email	String	Operari/ària que ha agafat el job (opcional fins a l'assignació).
time_assigned	String	Timestamp ISO de l'assignació.
handbag_id	String	Identificador de la handbag física vinculada al job.
wh_picked	Bool	Marca de finalització del picking físic.

Taula A2.3. Esquema de la taula PickingJobs (warehouse-picking-jobs) en el cas Kalax. Definida a `src/common/database/PickingJobs.py`.

Kalax / stock-containers. La graella física es modela com a contenidor del sistema d'inventari d'Amphora. La clau composta `{warehouse_id}#KALAX` permet agrupar tots els Kalax d'un mateix magatzem; el sort key és l'identificador de l'estació. El camp `grid_size` descriu la matriu de slots, children manté ordenats els contenidors fills (un per slot, null si està buit), i `in_use` és el lock que els handlers comproven abans de modificar la graella per evitar carreres entre la pantalla del printer i les operacions de tools mòbil.

Camp	Tipus	Rol
<code>warehouse_type</code>	String	Partition key composta: <code>{warehouse_id}#KALAX</code> .
<code>id</code>	String	Sort key — identificador de l'estació física (<code>station_id</code>).
<code>station_id</code>	String	Còpia de l'id; garantida igual per validació.
<code>grid_size</code>	Map	Configuració de la graella: <code>{spots: [[1,2,3],[4,5,6],...]}</code> (les files es numeren de dalt a baix, amb la lletra A a l'última fila).
<code>children</code>	List<String>	Llista ordenada dels contenidors fills, un per posició de la graella; null si el slot està buit.
<code>in_use</code>	Bool	Lock — quan és cert es bloquegen les operacions de redimensió i eliminació.
<code>status</code>	String	Estat del contenidor (open, closed).
<code>created_at / updated_at</code>	String	Timestamps d'auditoria.

Taula A2.4. Esquema del contenidor Kalax dins de stock-containers. Definit a `src/common/database/stock/Kalax.py`.

Handbags (warehouse-handbags). Una handbag és el contenidor físic que l'operari/ària de picking omple durant la fase mòbil i lliura després a l'Amphora Station. Per a Kalax, el camp `collection_type` val "kalax_job" i `current_data` registra el job actiu, el moment de l'assignació i el mapa de comandes amb els seus productes. El camp `historical_data` conserva un audit trail per a debugging post-mortem.

Camp	Tipus	Rol
warehouse_id	String	Partition key.
id	String	Sort key — identificador de la handbag.
collection_type	String	"kalax_job" per a handbags Kalax.
current_data	Map	{assigned, job_id, time_assigned, orders_items} — estat actiu.
historical_data	List	Pista d'auditoria amb transicions d'estat.
carrier	String	Carrier principal dels enviaments inclosos.
company_id	String	Empresa client (cas no-mixt).
grid_size	Map	Heretat per al subtipus KalaxJobHandbag — geometria de la graella objectiu.
update_time	String	Timestamp de la darrera modificació.

Taula A2.5. Esquema de Handbags (warehouse-handbags) per a la collection kalax_job. Definida a `src/common/database/Handbags.py`.

JobCustomizations (warehouse-job-customizations). Cada empresa client d'un magatzem té un conjunt de regles d'agrupació configurables que la lògica de `prepare_kalax_jobs` consulta abans de generar cap job. Aquesta personalització per (warehouse, company) és la que permet que Kalax serveixi marques amb cistells petits i marques amb cistells grans sense canviar codi.

Clau de configuració	Valor típic	Significat
MAX_ORDERS_KALAX	5 – 12	Nombre màxim de comandes per job.
MIN_ORDERS_KALAX	2 – 4	Nombre mínim per crear un job; per sota, les comandes queden al backlog o s'envien per la metodologia de fallback.
MAX_ITEMS_KALAX	1 – 50	Sostre d'ítems per comanda; comandes més grans van a un mètode diferent.
MIN_ITEMS_KALAX	1	Pis d'ítems per comanda admesa al job.
PREPARE_KALAX_PRIORITY	0 – 100	Ordre relatiu amb què <code>prepare_kalax_jobs</code> s'executa respecte a la resta de mètodes en <code>v2_B_async_wh_jobs_task</code> .
NOT_MIXED_TAGS_JOBS_KLX	0 / 1	Si val 1, prohibeix que un job barregi comandes amb tags

		incompatibles (p. ex. urgent vs. standard).
JOB_WITHOUT_SLOTS	0 / 1	Permet jobs amb productes sense ubicació coneguda (modes de degradació).
HAS_LAYOUT	0 / 1	Activa el solver de layout (distància real) en lloc del greedy.

Taula A2.6. Claus de JobCustomizations rellevants per a Kalax. La taula completa és a `src/common/database/JobCustomizations.py`.

Slots (warehouse-slots). Taula que registra la ubicació física de cada producte al magatzem, incloent-hi quantitat actual, empresa propietària i flags com `is_picking_disabled`. El solver de ruta més curt fa de pont entre Slots i el camp `picking_path` de `PickingJobs`: en construir un job Kalax, el sistema consulta Slots per a cada `product_id` de la comanda i genera la seqüència òptima de visites.

warehouse-paths. Memòria cau de solucions del solver indexada per (warehouse, solver_type, problem_id, timestamp). Quan el mateix conjunt de productes ha de ser visitat per dos jobs consecutius, la solució es reutilitza i s'evita el càlcul, que pot ser car per a magatzems grans.

A2.1.4 Capa d'APIs internes

L'accés a les taules es vehicula sempre a través de classes API en `src/common/api/`. Aquesta capa centralitza les regles d'integritat (transicions vàlides, locks, audit trail) i és l'única que els handlers Lambda haurien d'invocar. Les classes API rellevants per a Kalax són les següents.

KalaxAPI (`src/common/api/containers/KalaxAPI.py`) — CRUD i operacions sobre el contenidor Kalax: `get_kalax_for_station`, `get_kalax_full_payload`, `put_product_in_slot`, `set_in_use`, `parse_scan`, `get_slot_index_from_scan`.

PickingJobsAPI (`src/common/api/picking_jobs/PickingJobsAPI.py`) — consulta per metodologia, assignació i desassignació de jobs, neteja de pendents.

HandbagsAPI / HandbagAPI (`src/common/api/handbags/` i `src/common/api/containers/HandbagAPI.py`) — gestió genèrica i versió integrada amb el sistema de contenidors.

ContainerAPI (`src/common/api/containers/_ContainerAPI.py`) — operacions transversals sobre stock-containers utilitzades indirectament per KalaxAPI a través de `StockTransactionsService`.

WarehouseZoneAPI i SlotMapper — apliquen restriccions de zona i mapping invers (producte → slots) en el moment de construir la ruta.

A2.1.5 Algoritmes de ruta i agrupació

La part algorísmica de Kalax al backend es concentra en dues responsabilitats: agrupar comandes (creació de jobs) i ordenar la ruta de visita al magatzem (camí més curt). L'explicació conceptual d'aquestes decisions de disseny es presenta al capítol 6; aquí se'n documenta la implementació.

Agrupació de comandes. `create_kalax_jobs`, a `kalax_jobs.py`, implementa una heurística determinista en quatre passos: (1) filtra comandes amb productes disponibles, no bloquejades i del tipus correcte; (2) ordena per prioritat (tag de prioritat primer, després per timestamp ascendent); (3) agrupa per finestres respectant `MAX_ORDERS_KALAX` i els límits d'ítems per comanda; (4) si l'últim grup queda per sota de `MIN_ORDERS_KALAX`, s'agrega al penúltim per no perdre comandes. La separació entre ítems principals (`TYPE_ITEM`) i ítems "extra" (`TYPE_MARKETING_PAPER`, `TYPE_PACKAGING`) fa que els materials promocionals s'agreguin al final de la ruta i no contaminin l'optimització.

Camí més curt. `shortest_path2.py` exposa `get_sorted_path(...)`, que orquestra el solver. Si el magatzem té layout configurat (`HAS_LAYOUT=1`), s'invoca un solver de distància real basat en `WarehouseLayout` (`src/functions/aaxaa/picking/algorithms/layout/classes/WarehouseLayout.py`); en cas contrari, s'aplica un greedy basat en l'ordre nominal de slots. El resultat s'emmagatzema a la taula `warehouse-paths` per a reutilització.

Mapping de graella. `KalaxGrid` (`src/common/database/stock/Kalax.py`) encapsula la conversió bidireccional entre coordenades de la graella i etiquetes de slot. La convenció és que la fila inferior és la lletra "A" i la columna esquerra és el número 1, amb la fila superior agafant la lletra més alta. Aquesta inversió es reflecteix tant a la UI de l'Amphora Station com a les etiquetes ZPL impreses per a cada slot.

A2.1.6 Esdeveniments asíncrons i SQS

La preparació de jobs no es fa en línia: la persona usuària del magatzem dispara `v2_A_call_prepare_jobs` (HTTP) i aquest invoca `v2_B_async_wh_jobs_task` (asíncron) per evitar bloquejar el client. `v2_B` agafa un lock per (warehouse, company) durant deu minuts a la taula `Warehouse.company_jobs_info` i, dins d'aquesta finestra, executa la seqüència ordenada de `prepare_massive_jobs` → `prepare_single_pick_jobs` → `prepare_base_jobs` → `prepare_set_jobs` → `prepare_set1_jobs` → `prepare_kalax_jobs`. L'ordre el determina la prioritat configurada per empresa, i cada handler retorna el conjunt d'ordres consumides perquè les fases següents no les considerin.

Quatre cues SQS recolzen el flux: `order_events` (entrada de comandes), `warehouse_events` (audit trail), `layout-calculate-slot-mapping` (refresc del mapping invers producte→slots) i `notification-events` (avisos de slot buit). En cas que el solver detecti que un producte requereix recàlcul del mapping, encua un missatge a `layout-calculate-slot-mapping` per regenerar-lo fora de línia, de manera que el job actual pugui respondre sense bloquejar.

A2.2 gwanlo — Amphora Station sobre Raspberry Pi

A2.2.1 Llenguatge, descripció i objectiu del repositori

gwanlo és el repositori que conté tota la pila programari de l'Amphora Station — el conjunt físic format per la Raspberry Pi, la pantalla, l'escàner HID, la impressora Zebra ZPL, els altaveus i els LEDs perifèrics. Cada estació física és una Raspberry Pi sota una imatge personalitzada de Raspberry Pi OS Lite amb un esquema de partició dual blue/red (anomenades internament Roma i Berlin) que permet rollback en cas que una actualització falli. La identitat de cada estació es codifica al fitxer `information.json` (IP, warehouse, usuari, proxy SSH invers de fallback) i es persisteix entre reinicis.

El repositori s'organitza en set subprojectes principals: client (frontend), server/core (backend Flask), server/printers (servei dedicat d'impressió), os (imatge i scripts de boot), atenea_v2 (testbox de LEDs WS2811), aws (infraestructura Terraform de proxy i registre Docker) i dev (CLI unificada). Tots junts es construeixen i es distribueixen amb el script `gwanlo-cli.sh`, que orquestra build, release i deploy mitjançant tarballs versionades emmagatzemades a S3.

En relació amb Kalax, gwanlo és el component físic amb què la persona operària interacciona durant la sessió de sorting (l'explicació de funcionament es presenta al capítol 6). Des de gwanlo es consumeixen els endpoints `get_kalax`, `scan_kalax_slot` i `set_kalax_in_use` exposats pel domini gwanlo d'hermes; s'orquestra l'animació dels LEDs perifèrics; s'imprimeix l'etiqueta ZPL de cada comanda completada; i s'emeten els esdeveniments Socket.IO que la pantalla del packer (al costat oposat de la graella) ha de reflectir. L'annex documenta el sistema tal com estava implementat el maig de 2026; la nota tècnica següent matisa la descripció del capítol 6.

Aclariment respecte al capítol 6. La descripció funcional del capítol 6 esmenta "Vue.js 3" i "WS2812B + ESP32 + RS-485 Modbus RTU" com a stack de l'Amphora Station. La implementació auditada per a aquest annex utilitza Vue 2.7 (amb adaptador de Composition API per a una migració parcial cap a Vue 3) i NeoPixel WS2812B controlats directament des de la GPIO de la Raspberry Pi via SPI; el subprojecte atenea_v2 incorpora WS2811 com a banc de proves. La capa Modbus RTU sobre RS-485 està documentada com a evolució futura — es preveu introduir-la quan l'escalat a graelles de més de 80 LEDs faci necessari un microcontrolador intermedi (ESP32) per gestionar la càrrega de corrent.

A2.2.2 Estructura de subprojectes

Subprojecte	Llenguatge / Framework	Rol
client/	JavaScript / Vue 2.7 + Vuetify 2 + Vuex 3 + Socket.IO client	Frontend de l'Amphora Station. Pantalles de scanning, packing, configuració i fluxos Kalax.

server/core/	Python 3 / Flask + python-socketio	Backend local de l'estació (port 4000): orquestració d'escàner, GPIO, LEDs i Socket.IO.
server/printers/	Python 3 / Flask + CUPS	Servei dedicat d'impressió (port 4001): descobriment d'impressores Zebra, encuat de jobs, monitoratge.
os/	Bash / Raspberry Pi OS Lite + systemd + Pinn	Generació de la imatge del sistema, particions blue/red, units systemd, update_os.sh.
atenea_v2/	Python 3 / Pygame + spidev / I2C	Testbox autònom per validar LEDs WS2811, botons GPIO i Wi-Fi sobre Raspberry Pi 5.
aws/	HCL / Terraform	Infraestructura del proxy reverse-SSH, registre Docker ECR i DNS.
dev/	Bash / Docker Compose	CLI gwanlo-cli.sh: build, deploy, simulate, restart.
zeus/	Bash / Debian packaging	Estació de QA: paquet .deb que es desplega a estacions de proves.
docs/	Markdown + GitHub Wiki sync	Documentació tècnica i operativa interna.

Taula A2.7. Subprojectes del repositori gwanlo amb el seu llenguatge i rol funcional al sistema Kalax.

A2.2.3 Frontend Vue: KalaxJobController i KalaxShippingCard

L'experiència de sorting i packing es concentra al component `KalaxShippingCard.vue`, dins de `client/src/components/shipping/`. Aquest component renderitza la graella amb CSS Grid (incloent-hi layouts irregulars), els estats per slot (EMPTY, ASSIGNED, PENDING, COMPLETE, COOLING_DOWN) i la barra de progrés global de la sessió. La màquina d'estats subjacent — escaneig de handbag, escaneig de producte, assignació dinàmica de slot, marcatge de comanda completa i cooldown verd de 5 segons — resideix en una classe pura de JavaScript anomenada `KalaxJobController` (`client/src/controllers/KalaxJobController.js`, aproximadament 1540 línies). Aquesta separació entre el component visual i el controlador lògic permet provar la màquina d'estats sense muntar el DOM i ha estat clau per refactoritzar la lògica sense regressions.

L'estat persistent entre sessions es manté al mòdul `Vuex kalax.store.js`, que persisteix la configuració Kalax (geometria de la graella, slots, barcodes) a `localStorage` i la sincronitza amb el backend a través de l'acció `fetchKalax` cada cop que el socket es reconnecta. Els helpers de `useKalaxOrders.js` (`buildOrderKey`, `buildHandbagKey`, `validateSlotScan`) són les funcions pures que la resta del codi reutilitza per construir les claus que viatgen pel cable.

La capa social i de gamificació té presència parcial al codi del client (l'explicació de funcionament es presenta al capítol 6): hi ha components base (Badge, ProgressBar, BadgeV2) i un layout d'Onboarding amb StepCard, mentre que el sistema XP i el leaderboard són en desenvolupament a la branca VXL-00/KalaxGamified i no formen part de la branca principal en el moment de l'auditoria. Aquesta separació entre branca principal i branca de gamificació respon al protocol del TFG: la condició Kalax+G dels tests d'usuari/ària s'executa sobre la branca de gamificació, i la condició Kalax base, sobre la branca principal.

A2.2.4 Backend Flask: scanner, GPIO i impressió

El backend local de l'estació té dos processos independents en contenidors Docker separats: server/core (Flask + Socket.IO al port 4000) i server/printers (Flask al port 4001). El primer és el component central de coordinació de l'estació; el segon és un servei autocontingut perquè un error a CUPS o a una impressora no afecti la resta del sistema.

server/core/barcode_scanner.py. Implementa la integració amb l'escàner HID — debounce, prefixos i encaminament. Cada lectura es classifica segons el prefix: H- per a una handbag, "2#KALAX@..." per a un slot d'una graella Kalax, "2#STOCK@..." per a un producte i "2#OUTBOUND@..." per a una etiqueta de sortida. La classificació decideix quin handler de la UI s'invoca via Socket.IO.

server/core/gpios/. Servei centralitzat de GPIO. Gestiona els botons físics (esquerra GPIO17, dreta GPIO27) amb debounce configurable i el LED NeoPixel d'estat global (GPIO21). Exposa endpoints HTTP locals com /action/refresh i /system/shutdown que els botons disparen segons la durada de pulsació.

server/core/utils/leds.py. API d'alt nivell per al LED d'estat: show_error (vermell), show_success (verd), show_warning (groc), show_amphora (groc parpellejant) i get_info (blau). El gpio_config.json fixa brillantor (1), durada de flash (0.2 s) i durada de pulsació llarga (15 s).

server/printers/. Servei d'impressió desacoblat. Inclou install_printers.py (descobriment i configuració CUPS, ~66 KB), printer_status_monitor.py (sondeig de salut en temps real, ~121 KB), socketio_printer_status.py (emissió d'estat al client via socket) i monitoring_service.py (cron intern). L'ordre ZPL es genera al backend hermes (no aquí) i el servei d'impressió només l'encua i el lliura a CUPS, retornant l'èxit o l'error al frontend.

A2.2.5 Hardware perifèric: LEDs NeoPixel, WS2811 i Zebra

El feedback físic immediat — l'element clau del disseny LBE de Kalax — s'aconsegueix amb tres famílies de hardware: LEDs NeoPixel (un per estació, GPIO21 sobre la Raspberry Pi), tires LED WS2811 (banc de proves a atenea_v2) i les impressores Zebra ZPL.

NeoPixel WS2812B. Cada estació té actualment un únic LED d'estat global. La biblioteca neopixel s'utilitza directament des de Python sobre GPIO21; la configuració (data_pin, num_pixels, brightness, auto_write) resideix a gpio_config.json. Les transicions són immediates (auto_write activat).

WS2811 sobre SPI (atenea_v2). Per al pas a una graella amb un LED per slot — fase prevista pel disseny — atenea_v2 prova WS2811 connectades a SPI0 MOSI de la Raspberry Pi 5. El protocol està documentat a atenea_v2/docs/led_protocol.md: SPI a 3,2 MHz, cada bit WS2811 codificat en 4 bits SPI (1110 per al "1", 1000 per al "0"), ordre de color GRB i 24 bytes de zeros com a frame de "latch". Aquest banc de proves és el precursor de la integració Modbus RTU + ESP32 referenciada al capítol 6 i prevista per a la fase de graelles grans (>80 LEDs).

Impressores Zebra ZPL. Les impressores Zebra reben jobs ZPL formats pel backend hermes a través del servei printers. La configuració descoberta es persisteix a printers.json a la mateixa Raspberry Pi. La impressió d'etiquetes és l'esdeveniment que tanca el cicle Kalax: completar una comanda → imprimir etiqueta → el packer la pega → operació tancada.

A2.2.6 Sistema operatiu, desplegament i actualització

La Raspberry Pi arrenca amb Pinn com a bootloader, que tria la partició Roma o Berlin segons el flag d'última actualització. Cada partició conté una imatge completa formada per dos tarballs encavalcats: un "root" (Raspberry Pi OS Lite + dependències del sistema, regenerat poques vegades) i una "release" (codi de client, server/core i server/printers, regenerada a cada lliurament). El sistema arrenca tres unitats systemd — gwanlo_core.service, gwanlo_printers.service i gwanlo_client.service — amb reinici automàtic en cas de fallida.

Les actualitzacions arriben de dues maneres: una soft update (soft_update.sh) substitueix només el codi mantenint l'OS, útil per a hotfixes; una full update (update_os.sh) recompila tot el conjunt, l'escriu a la partició alternativa i reinicia. Si la nova partició no arrenca, Pinn retorna a l'anterior. El proxy reverse-SSH definit a aws/stations_proxy_server/ permet a l'equip d'infraestructura accedir a qualsevol estació sense exposar-la a Internet, fet imprescindible per a la cobertura de suport remot.

A2.3 aaxaa — Aplicació mòbil React Native

A2.3.1 Llenguatge, descripció i objectiu del repositori

aaxaa és el monorepo pnpm de les aplicacions mòbils d'Amphora. Conté l'app principal — apps/aaxaa — desenvolupada en React Native 0.79.3 amb React 19, TypeScript estricte i Node 22, més una app paral·lela de Storybook i el paquet de design-system mòbil (packages/design-system-mobile). La distribució es fa principalment a Android sobre tauletes industrials emprades per la persona operària de picking; la cadena de build s'orquestra amb Metro i, segons l'app, amb EAS d'Expo o la CLI nativa de React Native.

En el sistema Kalax, aaxaa cobreix dos rols. El primer és el rol de picker — la persona que recorre el magatzem amb un carro o una handbag i recull els productes seguint la ruta proposada. El segon és el rol de Tools — un conjunt de pantalles d'administració in situ per crear, redimensionar, buidar o eliminar

una graella Kalax sense haver de tornar a l'oficina. Tots dos rols comparteixen la mateixa app, però hi accedeixen a través de fluxos de navegació diferents.

El repositori aplica una arquitectura estricta de contextos: contextos globals (OrdersContext, WhRulesContext, TasksContext, TimerContext), contextos de domini per a cada tipus de picking (incloent-hi KalaxPickContext) i estores Zustand per a estat de flux. La persistència es fa amb MMKV (react-native-mmkv 3.3.0). La navegació passa sempre per un singleton anomenat navigationService, mai amb navigation.navigate() directe — una convenció imposada per plugins ESLint personalitzats.

A2.3.2 Flux de picking mòbil per a Kalax

El flux mòbil de picking té els seus punts d'entrada en quatre pantalles principals (l'explicació de funcionament es presenta al capítol 6).

PickingMenu (Views/Main/Core/Internal/Picking/Screens/PickingMenu.tsx) — punt d'entrada que llista totes les metodologies disponibles (Individual, Massive, Single, Base, Set, Set1, B2B, Transfer, Kits, Kalax). El picker tria Kalax i passa a StartPicking amb el context KalaxPick.

StartPicking — la persona usuària escaneja la seva posició de partida i la handbag inicial; useGetPickingTask() invoca getProcessingKalaxPickJobs() a KalaxPickContext, que crida l'endpoint hermes get_picking_job_task_handler filtrat per kalax_job.

MainPicking — renderitza la llista de productes pendents i, per a cada producte, navega a una pantalla d'escaneig que valida la lectura contra el camp picking_path retornat pel backend.

FinishWithHandbag — quan la handbag està plena, el picker l'escaneja per consolidar la sessió; aaxaa crida finish_handbag (hermes) i mostra el resum estadístic.

L'estat persistent entre crashes i sessions s'emmagatzema a Services/Storage/kalaxPickJob.storage.ts a través de MMKV. Aquest disseny garanteix que, si l'app es força a tancar a mig flux, la propera obertura recupera exactament la posició del picker — un requeriment essencial en jornades de 8 hores en què la fatiga o un cop accidental no han de comportar la pèrdua d'un job actiu.

A2.3.3 Pantalles de Tools per a la gestió de la graella

La família Tools/Screens/Kalax conté les pantalles que la persona coordinadora del magatzem fa servir per gestionar la vida de la graella Kalax.

CreateKalax.tsx — entrada exclusiva via esdeveniment Socket.IO kalax-navigate. Permet definir geometria (files × columnes), assignar impressora i imprimir un joc d'etiquetes ZPL amb els codis dels slots. La invocació socket-only força que la creació sempre passi per gwanlo i no es pugui activar en fred des de la home de l'app.

KalaxInfo.tsx — pantalla de gestió central (700+ línies). Renderitza la graella 2D amb el contingut actual de cada slot, ofereix accions de buidar un slot puntual, redimensionar i eliminar la graella, i emet de tornada esdeveniments `resize-kalax`, `empty-spot-kalax`, `delete-kalax` i `return-modifications` cap a gwanlo.

ResizeKalax.tsx — formulari especialitzat de canvi de mida amb validació prèvia (no es permet reduir per sota del nombre actual de slots ocupats).

Components/Kalax/KalaxGridView.tsx — component visual reutilitzat tant a CreateKalax com a KalaxInfo amb dos modes (view i editor); gestiona seleccions, edicions in-place i feedback visual per slot.

Helpers/Functions/kalaxGridUtils.ts — utilitats pures de coordenades (`letterToIndex`, `indexToLetter`, `slotLabelToIndex`, `buildGridSizeData`, `calculateCellSize`) que cobreixen exhaustivament la conversió entre etiqueta "A1" i índex 0-based; són les mateixes utilitats que el client de gwanlo aplica del cantó oposat.

A2.3.4 Integració via Socket.IO i navegació socket-driven

La connexió entre aaxaa i gwanlo no és HTTP pura: l'app mòbil manté un canal Socket.IO viu amb cada Amphora Station, gestionat per `Services/Socket/StationSocketService.ts`. Aquest canal permet que la persona coordinadora actuï sobre la graella a peu d'estació i que els canvis es propaguin en temps real a tots els clients connectats.

El patró és el següent: la persona usuària escaneja amb la tauleta un codi QR que identifica una estació; `setConnectedStationId()` registra l'estació al socket service. Quan, a posteriori, prem un botó d'acció Kalax (per exemple "Crear Kalax"), aaxaa no navega directament: emet un esdeveniment de servidor que gwanlo recull, valida i contesta amb un `kalax-navigate {flow: "CreateKalax", stationId, ...}` de tornada. El hook `useStationSocket` l'escolta i invoca `navigationService.goToKalaxFromSocket(payload)`, que finalment empeny la pantalla. Aquesta indirecció evita que dues persones coordinadores creïn Kalax conflictius a la mateixa estació i centralitza la validació al servidor.

Endpoints HTTP cridats des de aaxaa. Tots a través de l'API gateway `api.amphoralogistics.com` sota el prefix `prod-aaxaa-tools/` o `prod-aaxaa-picking/`: `get_all_kalax`, `get_kalax`, `create_kalax`, `resize_kalax`, `empty_kalax_grid_spot`, `delete_kalax` (Tools); `get_picking_jobs_v3`, `get_single_picking_job`, `finish_picking_job`, `unassign_picking_job` (Picking).

A2.4 Diagrama d'integració tri-repositori

Aquesta secció recull, en forma de seqüència textual, el flux end-to-end d'una sessió Kalax travessant els tres repositoris. La memòria definitiva substituirà aquesta seqüència textual per un diagrama UML de seqüència; mentrestant, la descripció fa evident la coordinació necessària entre hermes, gwanlo i aaxaa.

Fase 0 — Configuració. La persona coordinadora del magatzem accedeix a la tauleta aaxaa, escaneja l'estació i emet "create kalax" via socket. gwanlo valida l'estació, retorna kalax-navigate i aaxaa renderitza CreateKalax. La persona usuària fixa la geometria i confirma. aaxaa crida POST prod-aaxaa-tools/create_kalax a hermes; hermes escriu el contenidor a stock-containers i retorna l'id; aaxaa imprimeix les etiquetes ZPL dels slots a la impressora Zebra de l'estació.

Fase 1 — Generació del job (asíncrona). Una persona usuària amb permisos invoca v2_A_call_prepare_jobs des de l'Amphora Station o un cron intern. hermes encua una invocació a v2_B_async_wh_jobs_task; aquest pren un lock a Warehouse.company_jobs_info i, dins del lock, executa la cadena prepare_*_jobs en ordre de prioritat. Quan toca prepare_kalax_jobs, create_kalax_jobs agrupa les comandes per empresa, calcula la ruta via shortest_path2 i escriu un registre per job a warehouse-picking-jobs amb metodologia kalax_job.

Fase 2 — Picking. La persona operària obre aaxaa, tria Kalax al PickingMenu i comença una sessió. aaxaa crida get_picking_job_task_handler i rep un job Kalax. L'operari/ària segueix la ruta (picking_path) i, en cada slot del magatzem, escaneja el producte. Quan acaba, escaneja la handbag (FinishWithHandbag) i hermes registra que el lot està llest per a sorting.

Fase 3 — Sorting cooperatiu a l'estació. L'operari/ària arriba a l'Amphora Station (gwanlo) i escaneja la handbag a la pantalla principal del printer. La store kalax.store.js havia carregat la configuració de la graella en connectar el socket; KalaxJobController inicia la màquina d'estats. Cada producte escanejat dispara un POST a hermes scan_kalax_slot (via gwanlo-control), que retorna el slot assignat. El controller actualitza la UI (color del slot, animacions) i el LED d'estat reacciona via utils/leds.py.

Fase 4 — Packing. Al costat oposat de la graella, una segona pantalla mostra els slots verds (completats). Quan el packer retira els productes d'un slot en verd, gwanlo registra la retirada mitjançant scan_kalax_slot; hermes neteja children[slot], crida finish_order i, si tota la comanda està empaquetada, genera l'etiqueta ZPL i la lliura al servei printers. La impressora Zebra la imprimeix; el packer la pega a la caixa i la sessió continua.

Fase 5 — Tancament. Quan tots els productes de la handbag s'han processat, finish_handbag tanca la handbag al backend, l'app mòbil rep notificació i mostra el resum (temps total, productes processats, errors). L'estat queda persistit a warehouse-handbags i warehouse-picking-jobs; les analytics consumeixen els esdeveniments via la cua warehouse_events; els indicadors objectius del capítol 8 (temps per ordre, taxa d'error, throughput) es calculen a partir d'aquests esdeveniments.

A2.5 Figures i captures proposades per a la memòria definitiva

Aquest annex documenta el sistema textualment per garantir-ne la traçabilitat d'enginyeria. La memòria final incorporarà captures, diagrames i fotografies que il·lustrin cadascun dels components descrits. Aquesta secció proposa la llista de figures, prioritzada per valor explicatiu, perquè el lector o lectora pugui anticipar el material visual que enriqueix la lectura definitiva.

Figura A2.1 — Foto d'una estació Amphora física. Vista frontal de la pantalla del printer, l'escàner HID, la impressora Zebra i el LED d'estat NeoPixel. Acompanyada d'una vista lateral on es veu la graella de slots i la pantalla del packer al costat oposat. Font: foto del magatzem d'Amphora a Barcelona.

Figura A2.2 — Captura de la UI `KalaxShippingCard.vue` durant una sessió activa. Mostra la graella 2D amb slots en diferents estats (gris EMPTY, taronja ASSIGNED, groc PENDING, verd COMPLETE, verd clar COOLING_DOWN), la barra de progrés global i el panell lateral de productes suggerits (`SuggestedProductsKalax`). Font: navegador Chromium dins de la Raspberry Pi de l'estació, mode pantalla completa.

Figura A2.3 — Diagrama d'arquitectura tri-repositori (ampliació de la Figura 6 del capítol 6). Tres caixes (hermes, gwanlo, aaxaa) amb les seves capes internes, fletxes etiquetades amb el protocol (HTTP REST, Socket.IO, SQS) i els endpoints concrets que circulen per cada fletxa. Font: diagrama original generat amb draw.io / Mermaid.

Figura A2.4 — Captura del codi de `kalax_jobs.py` amb la funció `create_kalax_jobs` ressaltada (entre 30 i 50 línies). Acompanyada d'una taula amb la traça d'execució d'un cas concret: 12 comandes d'entrada, configuració `MAX_ORDERS_KALAX=4`, dos jobs resultants amb la ruta calculada. Font: VS Code amb extensió Carbon per generar imatge tipogràfica.

Figura A2.5 — Captura del DynamoDB Explorer (AWS Console o `dynamodb-admin`) mostrant un registre real de stock-containers amb partition key `20#KALAX` i `grid_size + children` visibles. Es recomana ofuscar identificadors d'empresa per confidencialitat. Font: AWS Console, regió eu-central-1, taula `prod-stock-containers`.

Figura A2.6 — Fotografia o esquema del LED NeoPixel WS2812B i del cablejat GPIO de la Raspberry Pi. Inclou una taula petita amb el mapping de `gpio_config.json` (`data_pin=21`, `num_pixels=1`, `brightness=1`). Font: foto del laboratori d'Amphora o esquema generat amb Fritzing.

Figura A2.7 — Captures consecutives de l'app mòbil aaxaa durant un flux Kalax: `PickingMenu` (selecció Kalax) → `StartPicking` (escaneig de posició) → `MainPicking` (llista de productes) → `FinishWithHandbag` (tancament). Mostrades en mosaic, mateix dispositiu, mateixa sessió. Font: Android Studio screen recorder + extracció de frames.

Figura A2.8 — Captures de les Tools screens: CreateKalax (formulari de geometria), KalaxInfo (graella 2D amb dades reals) i ResizeKalax (formulari de redimensió). Anotacions que assenyalin els punts d'integració Socket.IO. Font: app aaxaa en mode coordinador, dispositiu de proves.

Figura A2.9 — Diagrama de seqüència UML del flux end-to-end descrit a A2.4. Actors: Operari/ària, App aaxaa, Hermes Lambda, DynamoDB, Gwanlo Amphora Station. Línies de vida amb missatges anotats (POST /create_kalax, kalax-navigate, scan_kalax_slot, etc.). Font: PlantUML.

Figura A2.10 — Captura del repositori a GitHub mostrant l'estructura del monorepo aaxaa (apps/, packages/, docs/) i, en una segona imatge, l'estructura del subdirectori gwanlo (client/, server/, os/, atenea_v2/...). Font: GitHub web UI; o `tree -L 2` capturat amb Carbon.

Figura A2.11 — Captures del subprojecte atenea_v2 en funcionament: la GUI Pygame al monitor de la Raspberry Pi 5 amb els sliders RGB i les animacions cycle/chase actives sobre una tira WS2811 connectada. Justifica visualment per què el banc de proves és el precursor de la integració Modbus RTU futura. Font: foto en condicions reals de laboratori.

Figura A2.12 — Captura del dashboard Axiom amb les traces OpenTelemetry d'una sessió Kalax completa: spans de create_kalax_jobs, prepare_kalax_jobs, scan_kalax_slot i finish_handbag visibles en ordre cronològic, amb la latència de cada operació. Font: app.axiom.co/amphora-vbvd amb consulta APL filtrada per attributes.kalax_job_id.

L'objectiu d'aquestes dotze figures és que un lector o lectora que no conegui el sistema pugui formar-se una imatge mental concreta de cada peça — la pantalla, la graella, el LED, el codi, la taula DynamoDB i la traça — sense haver de deduir-les a partir només del text. La selecció prioritza captures de l'entorn real de producció a Amphora, perquè el TFG documenta un sistema desplegat i no una maqueta de laboratori.

Annex 3 — Instruments d'avaluació i dades de la campanya de validació

Aquest annex recull el desenvolupament complet dels instruments d'avaluació i el conjunt de dades (simulades, però realistes i internament coherents) de la campanya de validació descrita al capítol 5 i sintetitzada al capítol 8. Inclou els qüestionaris adaptats, les respostes ítem a ítem dels deu operaris/àries en les tres condicions, les mètriques objectives, les transcripcions del Think-Aloud i de les tres entrevistes semi-estructurades, i la síntesi quantitativa completa.

1. Introducció i objecte del document

Aquest document recull el **desenvolupament complet dels instruments d'avaluació i el conjunt de dades de la campanya de validació empírica del sistema Kalax** (Amphora Logistics). Funciona com a document complementari de la memòria del TFG i té dos objectius:

1. Documentar de manera exhaustiva **com es validen** el sistema Kalax i el Kalax Framework a través d'una bateria triangulada d'instruments quantitatius i qualitatius.
2. Recollir, en un únic lloc, **totes les enquestes, les transcripcions i les dades** generades en la campanya (un mínim de deu operaris/àries), amb les preguntes adaptades a cada instrument i les respostes corresponents.

Nota d'abast. *Aquest document **no** reproduïx ni desenvolupa l'apartat de Resultats de la memòria original. Recull el material d'instrument (definicions, adaptacions i qüestionaris), les dades brutes de la campanya i la seva lectura en clau de validació d'hipòtesis. La interpretació estadística definitiva i la discussió acadèmica queden reservades al capítol de resultats de la memòria final.*

Nota sobre les dades. *El conjunt de respostes, transcripcions i mètriques que es presenten són **simulats** (fictícis però realistes i internament coherents), construïts a partir del disseny experimental i del marc teòric descrits a la memòria, amb la finalitat d'il·lustrar de manera completa el procediment de validació previst.*

El sistema sota validació, **Kalax**, és un mètode integral de *multi-order picking* i *packing* que articula tres components: (a) un mètode operatiu nativament eficient (*picking* multi-comanda amb ruta optimitzada i feedback *put-to-light*); (b) una arquitectura tècnica modular (app mòbil React Native, backend a Hermes/DynamoDB, Amphora Station sobre Raspberry Pi amb Vue.js, LEDs WS2812B controlats per ESP32); i (c) una capa de gamificació i *Location Based Entertainment* dissenyada des de la *Self-Determination Theory*, la *Flow Theory* i el *Serious Games Canvas*, **opt-in, no punitiva i centrada en la motivació intrínseca sostinguda**. La hipòtesi global del TFG és que aquesta integració produeix millores

mesurables i estadísticament significatives en *engagement*, precisió i temps per ordre respecte al mètode 1x1 actual.

2. Marc metodològic de la validació

2.1 Disseny experimental

La validació segueix un disseny **within-subjects** (mesures repetides) amb un mínim de deu operaris/àries reals d'Amphora Logistics. Cada participant prova, en una mateixa jornada, **tres condicions consecutives** separades per pauses de deu minuts:

- **C1 — Picking 1x1 (control):** el mètode tradicional, una comanda cada vegada, sense suport de l'app ni de l'Amphora Station.
- **C2 — Kalax base:** *multi-order picking* + app mòbil amb ruta optimitzada + Amphora Station amb feedback *put-to-light* (LEDs per slot), **sense** capa de gamificació.
- **C3 — Kalax+G:** Kalax complet amb la capa de gamificació *opt-in* (XP/progressió, feedback multisensorial, social *opt-in*, repte adaptatiu i onboarding gamificat).

L'ordre de les condicions C2 i C3 es **contrabalança** entre participants per controlar l'efecte de la pràctica i de la fatiga; C1 actua sempre com a línia de base. Cada condició opera amb el mateix volum de comandes per garantir una comparació justa. El consentiment informat és obligatori i les dades es tracten de forma anònima conforme al RGPD.

2.2 Bateria d'instruments i triangulació

L'avaluació combina **tres famílies de mesures** que es triangula entre si per obtenir evidència des de perspectives complementàries:

- **Quantitatius subjectius (escales validades):** *System Usability Scale* (SUS; Brooke, 1996), *NASA Task Load Index* (NASA-TLX; Hart & Staveland, 1988), *User Experience Questionnaire* (UEQ; Laugwitz, Held & Schrepp, 2008) i *Player Experience of Need Satisfaction* (PENS; Ryan, Rigby & Przybylski, 2006). S'administren després de **cada** condició.
- **Qualitatius:** *Think-Aloud Protocol* (Ericsson & Simon, 1993) aplicat durant C3, entrevistes semi-estructurades post-sessió (guió de 18 preguntes) i matriu de feedback estructurat (tres punts positius, tres negatius i una proposta de millora per condició).
- **Mètriques objectives:** registrades automàticament pel sistema — temps per ordre, taxa d'error, *throughput* i percentatge d'inactivitat.

Cada instrument s'ha triat per la seva complementarietat: el SUS aporta comparabilitat amb dades normatives massives; el NASA-TLX, la càrrega de treball percebuda; l'UEQ, la capa hedònica (estimulació,

novetat) que el SUS no capta; i el PENS, la satisfacció de les necessitats de la SDT, que és l'instrument més directament alineat amb el marc teòric de Kalax.

2.3 Conceptes del marc teòric que es validen

Les preguntes de tots els instruments s'han dissenyat per validar explícitament els conceptes del marc teòric de la memòria: el Location Based Entertainment (presència, immersió ambiental, feedback multisensorial; cas Bottle Bank Arcade), el Themed Entertainment (*storyliving* i *environmental storytelling* com a referents de la presència dissenyada), la Self-Determination Theory (autonomia, competència, relació), la Flow Theory (objectius clars, feedback immediat, equilibri repte-habilitat), el Fogg Behavior Model (LEDs i sons com a triggers de baixa ambigüitat), l'Octalysis (empoderament, propietat del perfil, influència social, evitant escassetat i evitació), el Hexad (diversitat motivacional, que justifica l'*opt-in*), el cas Salesforce Trailhead (identitat narrativa del perfil persistent) i la diferenciació ètica respecte del model coercitiu d'Amazon (no punició personal pública, *opt-in* real, transparència, benestar al centre).

2.4 Hipòtesis a validar

Hipòtesi	Enunciat	Instrument principal
H1	Kalax (C2 i C3) redueix el temps per ordre respecte al mètode 1x1 (C1).	Mètriques objectives
H2	Kalax (C2 i C3) redueix la taxa d'error respecte al mètode 1x1 (C1).	Mètriques objectives
H3	La capa de gamificació (C3) incrementa el SUS respecte a Kalax base (C2).	SUS
H4	La capa de gamificació (C3) redueix el NASA-TLX respecte a Kalax base (C2).	NASA-TLX
H5	La capa de gamificació (C3) incrementa el PENS (autonomia, competència, relació) respecte a Kalax base (C2).	PENS
H6	Els operaris/àries reporten preferència qualitativa per Kalax+G sobre les altres dues condicions.	Entrevistes

2.5 Pla d'anàlisi

L'anàlisi quantitativa preveu tests no paramètrics (Friedman amb comparacions per parells de Wilcoxon corregides per Bonferroni), atesa la mida petita de la mostra ($N = 10$) i la impossibilitat d'assumir normalitat; la mida de l'efecte es reporta amb la r de Wilcoxon. L'anàlisi qualitativa del Think-Aloud i de les entrevistes segueix una codificació temàtica inductiva-deductiva, amb una graella inicial derivada del marc teòric (engagement, control, flow, frustració) i codis emergents.

3. Caracterització de la mostra

La mostra està formada per **deu operaris/àries** d'Amphora Logistics, seleccionats buscant paritat de sexe, dispersió d'edat i d'antiguitat, i diversitat de tipologia motivacional (Hexad; Marczewski, 2015). Aquestes variables permeten detectar moderadors potencials de l'efecte de la gamificació. Les dades es presenten anonimitzades amb un codi de participant (OPxx).

Codi	Sexe	Edat	Antiguitat (mesos)	Exp. digital (1-5)	Exp. gamificació prèvia	Tipologia Hexad	Perfil professional
OP01	H	24	8	4	Sí	Player / Achiever	Jove nadiu digital, orientat a progressió
OP02	D	31	26	3	No	Achiever	Eficient, orientada a resultats
OP03	H	47	71	2	No	Free Spirit	Veterà, escèptic inicial
OP04	D	28	14	4	Sí	Socialiser	Sociable, orientada a l'equip
OP05	H	35	40	3	No	Philanthropist	Tranquil, dona suport als companys
OP06	D	22	5	5	Sí	Player	Nova incorporació, gran jugadora
OP07	H	52	96	2	No	Disruptor	El més veterà, crític amb les modes
OP08	D	39	55	3	No	Achiever / Socialiser	Polivalent
OP09	H	26	11	4	Sí	Free Spirit / Player	Li agrada experimentar
OP10	D	44	63	3	No	Philanthropist / Achiever	Sènior respectada

Composició resultant: cinc dones i cinc homes (paritat); edat mitjana $\approx 34,8$ anys (rang 22–52); antiguitat mitjana a la posició $\approx 38,9$ mesos (rang 5–96); experiència digital autoreportada mitjana $\approx 3,3/5$; quatre

dels deu participants amb experiència prèvia en gamificació. Les sis tipologies Hexad hi estan representades, amb predomini d'*Achiever* i presència explícita de perfils potencialment resistents a la gamificació (*Free Spirit*, *Disruptor*), la qual cosa endureix la prova: si fins i tot aquests perfils milloren, la robustesa de la validació n'augmenta.

4. Instrument 1 — System Usability Scale (SUS)

*Material d'instrument i dades brutes de la campanya de validació del sistema **Kalax** (Amphora Logistics). Aquest document **no** és el capítol de resultats de la memòria; recull la definició de l'instrument, l'adaptació al context i el conjunt complet de respostes ítem a ítem obtingudes en les tres condicions experimentals.*

1. Introducció a l'instrument i adaptació a Kalax

El **System Usability Scale (SUS)**, formulat per Brooke (1996), és un qüestionari de deu ítems de tipus Likert (1–5) que produeix una puntuació global d'usabilitat percebuda en una escala de 0 a 100. Tot i la seva antiguitat, continua sent l'instrument d'usabilitat més emprat en recerca aplicada i en indústria per tres raons que el fan especialment adequat per a aquesta campanya:

3. **Volum massiu de dades normatives.** Existeixen meta-anàlisis amb desenes de milers d'administracions (Bangor, Kortum i Miller, 2008; Sauro i Lewis, 2016) que permeten interpretar una puntuació absoluta contra una mitjana de la indústria àmpliament establerta. El llindar de **68 punts** marca la mitjana poblacional i el de **80 punts** s'associa habitualment al grau qualitatiu "excel·lent" (interval superior al percentil 90). Aquesta base normativa converteix una puntuació aïllada en una mesura interpretable, cosa que pocs instruments breus permeten.
4. **Robustesa i economia.** Deu ítems administrats immediatament després de cada condició minimitzen la fatiga del participant i la contaminació de memòria, fet crític en un disseny *within-subjects* amb tres administracions consecutives per operari/ària.
5. **Fiabilitat demostrada.** El SUS presenta una consistència interna alta i estable (α de Cronbach $\approx 0,91$ en les dades normatives), independent del domini d'aplicació.

Què mesura. El SUS és una mesura *global* d'usabilitat percebuda; combina facilitat d'ús, complexitat percebuda, integració de funcions, consistència, corba d'aprenentatge i seguretat/confiança de l'usuari. No descompon per dimensions de manera fiable (l'estructura bifactorial Usabilitat/Aprenentabilitat de Lewis i Sauro, 2009, s'usa només de manera indicativa), de manera que es reporta com a índex únic.

Adaptació a Kalax. L'instrument es manté íntegre en els seus deu ítems estàndard, traduïts al català, per preservar la comparabilitat amb les dades normatives. L'única adaptació és contextual i recau en l'ancoratge del referent "el sistema":

- En **C1 (picking 1x1, control)**, "el sistema" designa el **mètode tradicional 1x1** (una comanda cada vegada, sense suport de l'app ni de l'Amphora Station). Els operaris valoren l'usabilitat del procediment de treball tal com el coneixien.
- En **C2 (Kalax base)**, "el sistema" designa el conjunt *multi-order picking* + app mòbil amb ruta optimitzada + Amphora Station amb feedback *put-to-light* (LEDs WS2812B per slot), **sense** la capa de gamificació.
- En **C3 (Kalax+G)**, "el sistema" designa Kalax complet amb la capa de gamificació *opt-in* (progressió/XP amb perfil persistent, feedback multisensorial immediat, capa social *opt-in*, repte adaptatiu i onboarding gamificat).

El SUS s'administra després de cada condició. L'ordre de C2 i C3 es contrabalança i C1 actua sempre com a línia de base. La comparació intra-subjecte permet aïllar l'efecte incremental de la gamificació (contrast C3 vs C2), que és l'objecte de la hipòtesi **H3**.

2. Els deu ítems del SUS (versió en català)

Escala de resposta: **1 = molt en desacord · 2 = en desacord · 3 = neutral · 4 = d'acord · 5 = molt d'acord**.

Els ítems senars estan formulats en positiu; els parells, en negatiu.

#	Ítem	Polaritat
1	Crec que m'agradaria utilitzar aquest sistema sovint.	+
2	Trobo el sistema innecessàriament complex.	-
3	Crec que el sistema és fàcil d'utilitzar.	+
4	Crec que necessitaria el suport d'una persona tècnica per utilitzar aquest sistema.	-
5	Trobo que les diverses funcions del sistema estan ben integrades.	+
6	Crec que hi ha massa inconsistència en aquest sistema.	-
7	Imagino que la majoria de gent aprendria a utilitzar aquest sistema molt ràpidament.	+
8	Trobo el sistema molt incòmode d'utilitzar.	-
9	Em sento molt segur/a utilitzant el sistema.	+
10	Necessito aprendre moltes coses abans de poder utilitzar aquest sistema.	-

Càlcul de la puntuació. Per als ítems senars (1, 3, 5, 7, 9), la contribució és (valor – 1). Per als ítems parells (2, 4, 6, 8, 10), la contribució és (5 – valor). La suma de les deu contribucions (rang 0–40) es multiplica per 2,5 per obtenir la puntuació SUS final (rang 0–100). Equivalentment: $SUS = [(\sum \text{senars} - 5) + (25 - \sum \text{parells})] \times 2,5$.

3. Respostes ítem a ítem per condició

Les respostes són coherents amb la polaritat de cada ítem (en condicions favorables, senars alts i parells baixos) i incorporen variància realista entre participants. La columna **SUS** recull la puntuació calculada amb la fórmula anterior.

3.1 Condició C1 — Picking 1x1 (control)

El referent és el mètode tradicional. Les puntuacions són moderades-baixes: el mètode és conegut i previsible (per això no és catastròfic), però es percep poc estimulant, amb integració de funcions limitada i una sensació de seguretat tampoc no especialment alta a causa de la dependència de la memòria i del recompte manual.

Operari	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	SUS
OP01	3	3	4	2	3	3	4	3	3	3	60,0
OP02	3	2	4	2	3	3	4	3	3	3	62,5
OP03	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	52,5
OP04	3	3	3	3	3	3	4	3	3	2	57,5
OP05	3	3	4	2	3	3	3	3	3	3	60,0
OP06	2	3	3	3	3	3	4	3	3	3	55,0
OP07	3	4	3	3	3	3	3	3	3	2	50,0
OP08	3	3	4	2	3	3	3	3	3	3	60,0
OP09	3	3	3	3	3	3	4	2	3	3	57,5
OP10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	55,0

3.2 Condició C2 — Kalax base (sense gamificació)

El multi-order picking, la ruta optimitzada de l'app i el feedback *put-to-light* de l'Amphora Station eleven clarament la facilitat d'ús percebuda (I3), redueixen la complexitat (I2) i milloren la integració de funcions (I5) i la seguretat (I9). Les puntuacions superen el llindar de 68 en la majoria de casos. Els perfils escèptics (OP03, OP07) milloren respecte a C1 però es mantenen prudents.

Operari	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	SUS
OP01	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	80,0
OP02	4	2	5	1	4	2	4	2	4	2	82,5
OP03	4	2	4	2	3	2	4	3	3	3	70,0
OP04	4	2	4	2	4	2	4	3	4	2	77,5
OP05	4	2	4	2	4	2	4	2	4	3	77,5

OP06	4	2	4	2	4	2	5	2	4	2	82,5
OP07	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	65,0
OP08	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	80,0
OP09	4	2	4	2	4	2	5	2	4	2	82,5
OP10	4	2	4	2	3	2	4	3	4	3	72,5

3.3 Condició C3 — Kalax+G (amb gamificació)

La capa de gamificació opt-in incrementa la voluntat d'ús continuat (I1), la sensació de seguretat/competència (I9) i la percepció d'integració coherent (I5), alhora que la corba d'aprenentatge percebuda baixa gràcies a l'onboarding gamificat (I10). Les puntuacions entren majoritàriament en el rang "excel·lent" (≥ 80). Els perfils escèptics segueixen sent els més baixos del grup, però també assoleixen un increment net respecte a C2.

Operari	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	SUS
OP01	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	100,0
OP02	5	1	5	1	4	1	5	1	5	2	90,0
OP03	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	80,0
OP04	5	1	5	1	4	1	5	2	5	2	92,5
OP05	5	1	4	2	4	1	5	2	4	2	85,0
OP06	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	100,0
OP07	4	2	4	2	3	3	4	2	4	3	72,5
OP08	5	1	5	1	4	2	5	1	4	2	90,0
OP09	5	1	5	1	5	1	5	1	5	2	95,0
OP10	4	1	5	2	4	2	4	2	5	2	85,0

4. Taula resum: SUS mitjà per condició

Condició	SUS mitjà	Desviació estàndard (aprox.)	Interpretació qualitativa
C1 — Picking 1x1 (control)	57,0	$\approx 3,9$	Per sota de la mitjana de la indústria (68). Usabilitat marginal: el mètode és conegut però poc satisfactori i amb integració limitada.
C2 — Kalax base	77,0	$\approx 5,7$	Clarament per sobre de la mitjana (68). Bona usabilitat; el guany prové de l'estructura multi-order i del feedback <i>put-to-light</i> .
C3 — Kalax+G	89,0	$\approx 8,5$	Rang excel·lent (≥ 80). Usabilitat percebuda molt alta; la gamificació

			opt-in afegeix un increment net per damunt de Kalax base.
--	--	--	---

Ordre observat: C3 (89,0) $\geq$ C2 (77,0) > C1 (57,0), consistent amb el patró esperat per a mesures positives. Increment C2→C3 = +12,0 punts; increment C1→C2 = +20,0 punts.

5. Interpretació i validació de la hipòtesi H3

H3 — La gamificació (C3) incrementa el SUS respecte a Kalax base (C2) queda **validada** per aquestes dades. La puntuació SUS mitjana puja de **77,0 (C2) a 89,0 (C3)**, un increment de **+12 punts** que travessa el llindar qualitatiu de l'"excel·lent" (80). L'increment és consistent a nivell individual: els deu operaris milloren la seva puntuació de C2 a C3, sense cap inversió de l'ordre, fet que reforça la robustesa intra-subjecte de l'efecte.

És important separar els dos salts. El primer salt (C1→C2, +20 punts) és **estructural**: deriva del multi-order picking i del feedback *put-to-light*, no de la gamificació; això confirma que l'eficiència i la usabilitat base de Kalax no depenen de la capa lúdica. El segon salt (C2→C3, +12 punts) és l'efecte **net de la gamificació** i és el que sosté H3. La gamificació no "arregla" un sistema poc usable, sinó que eleva un sistema ja bo cap a l'excel·lència percebuda.

Connexió amb el marc teòric. Els patrons ítem a ítem permeten lligar l'increment a constructes concrets:

- **Claredat i facilitat (I3, I7) → objectius clars i feedback immediat de la Flow Theory.** El repte adaptatiu i el feedback multisensorial immediat mantenen l'operari en el canal de flux (equilibri repte-habilitat), cosa que es tradueix en una percepció de facilitat d'ús més alta i en una corba d'aprenentatge percebuda menor (I10 baix).
- **Seguretat percebuda (I9) → competència de la SDT.** La progressió/XP amb perfil persistent i el feedback de competència fan que l'operari se senti "molt segur/a" utilitzant el sistema; la pujada sistemàtica de l'ítem 9 en C3 és el correlat directe de la necessitat de competència satisfeta.
- **Integració de funcions (I5) → coherència del Serious Games Canvas i de la capa LBE.** La percepció que "les diverses funcions estan ben integrades" reflecteix que la gamificació no és un afegit superficial sinó una capa dissenyada de manera coherent (feedback multisensorial, presència i immersió ambiental de la Location Based Entertainment), alineada amb el disseny sistèmic del Serious Games Canvas.
- **Voluntat d'ús continuat (I1) → autonomia de la SDT i naturalesa opt-in/no punitiva.** L'increment de l'ítem 1 indica adhesió voluntària, coherent amb una gamificació basada en l'autonomia i diferenciada èticament del model coercitiu d'Amazon.

Perfils Hexad escèptics. Els dos participants amb disposició inicialment reticent —**OP03 (Jordi P., Free Spirit, veterà escèptic)** i **OP07 (Sergi V., Disruptor, el més reticent)**— són, com era previsible, els que

registren les puntuacions absolutes més baixes en totes tres condicions (OP03: 52,5 → 70,0 → 80,0; OP07: 50,0 → 65,0 → 72,5). Tanmateix, **tots dos milloren monòtonament** i mostren un increment net amb la gamificació (C2→C3 de +10,0 i +7,5 punts respectivament). Això és teòricament rellevant: confirma que el caràcter **opt-in** de la capa lúdica permet que perfils poc afins a la gamificació n'extreguin benefici sense rebuig —Jordi gràcies a l'autonomia i la baixa càrrega percebuda, Sergi reconeixent millores reals tot i mantenir reserves sobre la capa lúdica (el seu ítem 6 més alt en C3 reflecteix precisament aquesta reticència residual). La diversitat motivacional de l'Hexad queda així respectada: el sistema millora l'experiència de l'escèptic sense imposar-li la dimensió lúdica.

Síntesi. Les dades de SUS sostenen H3 amb un efecte clar i consistent, situen Kalax+G en el rang excel·lent de la base normativa de la indústria i mostren un increment universal entre participants, incloent-hi els perfils escèptics. La usabilitat base de Kalax és atribuïble a l'arquitectura multi-order i al feedback *put-to-light*; l'increment addicional és atribuïble a la capa de gamificació opt-in, alineada amb la SDT, la Flow Theory, la LBE/Themed Entertainment i el Serious Games Canvas.

5. Instrument 2 — NASA Task Load Index (NASA-TLX)

2.1. Introducció a l'instrument i justificació per a Kalax

El NASA Task Load Index (NASA-TLX), desenvolupat per Hart i Staveland (1988) al NASA Ames Research Center, és l'instrument de referència per a la mesura de la **càrrega de treball percebuda** (subjective workload) en tasques operatives. Lluny de quantificar el rendiment objectiu, captura la **càrrega cognitiva, física i emocional subjectiva** que la persona experimenta en executar una tasca, integrant sis dimensions complementàries en una puntuació global continguda a l'interval 0–100, on **valors més baixos indiquen menys càrrega** (i, per tant, una experiència operativa més favorable).

La seva inclusió en la campanya de validació de Kalax respon a una pregunta central i no trivial: la introducció d'una capa de gamificació, ¿**redueix** la càrrega cognitiva subjectiva de l'operari/ària o, per contra, hi **afegeix complexitat indesitjada** (estímuls redundants, sobrecàrrega sensorial, demanda de gestió d'un perfil de joc)? Aquesta és precisament la crítica habitual als sistemes gamificats en entorns laborals: que el *layer* lúdic acabi sent soroll que distreu de la tasca primària. El NASA-TLX permet discriminar empíricament entre les dues hipòtesis i, en concret, contrastar la **hipòtesi H4: la gamificació (C3) redueix el NASA-TLX respecte de Kalax base (C2)**.

El disseny és **within-subjects** amb tres condicions administrades consecutivament — C1 (picking 1×1, control), C2 (Kalax base, sense gamificació) i C3 (Kalax+G) — i el qüestionari s'administra **després de cada condició**. S'adopta com a puntuació global principal el **RAW-TLX** (Raw Task Load Index), és a dir, la **mitjana aritmètica no ponderada de les sis dimensions**. El RAW-TLX és una variant àmpliament acceptada i validada a la literatura (Hart, 2006; Bustamante & Spain, 2008), que elimina la fase de ponderació per parells sense pèrdua substancial de sensibilitat ni de fiabilitat, i que en alguns estudis

correlaciona fins i tot millor amb mesures objectives. A l'apartat 2.6 s'ofereix, de manera complementària i opcional, una lectura amb ponderació de fonts.

***Recodificació de la dimensió Rendiment.** A l'escala original, l'ancoratge de Rendiment va de bo/perfecte (0) a fracàs (100). Així, un **bon rendiment percebut** puntua **BAIX** en càrrega. Totes les puntuacions de Rendiment d'aquest informe ja estan expressades en aquesta direcció (0 = excel·lent → menys càrrega; 100 = fracàs → més càrrega), de manera que són directament integrables a la mitjana RAW-TLX.*

2.2. Les sis dimensions del NASA-TLX

Dimensió	Definició (registre operatiu Kalax)
Demanda mental	Esforç cognitiu i perceptiu requerit: pensar, decidir, recordar, cercar, calcular. En picking i packing, inclou la decisió "on va aquest producte?", la memorització de rutes i la gestió simultània de múltiples comandes.
Demanda física	Esforç corporal exigit: caminar, agafar, inclinar-se, manipular, moviment localitzat a l'estació. Captura la component ergonòmica i de fatiga muscular.
Demanda temporal	Pressió percebuda pel ritme i la cadència de la tasca: sensació de presses, de córrer per arribar a temps, de no poder pautar el propi treball.
Rendiment (<i>escala invertida</i>)	Grau de satisfacció amb el propi acompliment. 0 = rendiment perfecte (mínima càrrega); 100 = fracàs total (màxima càrrega). Un bon rendiment percebut puntua baix.
Esforç	Quantitat d'esforç global —mental i físic combinat— que la persona ha hagut d'invertir per assolir el seu nivell d'acompliment.
Frustració	Grau d'inseguretat, irritació, estrès o desànim experimentat (front a sentir-se segur, content i relaxat) durant la tasca.

2.3. Puntuacions per dimensió i condició

Les taules següents recullen la puntuació de cada operari/ària en les sis dimensions (0–100, increments de 5) i el **RAW-TLX** resultant com a mitjana no ponderada. Es manté en tots els casos l'ordre **C3 < C2 < C1** en càrrega global.

Condició C1 — Picking 1x1 (control)

Codi	D. mental	D. física	D. temporal	Rendiment*	Esforç	Frustració	RAW-TLX
OP01	65	50	65	50	65	65	60.0
OP02	60	50	65	45	65	60	57.5
OP03	75	60	70	60	75	70	68.3
OP04	70	55	65	50	70	60	61.7
OP05	65	55	65	50	65	60	60.0
OP06	75	55	75	60	75	80	70.0
OP07	70	60	70	55	70	70	65.8
OP08	70	55	70	50	70	70	64.2
OP09	65	50	65	45	65	60	58.3
OP10	70	55	65	55	65	65	62.5
Mitjana	68.5	54.5	68.0	52.0	69.0	66.0	62.8

Condició C2 — Kalax base (sense gamificació)

Codi	D. mental	D. física	D. temporal	Rendiment*	Esforç	Frustració	RAW-TLX
OP01	40	55	40	30	45	40	41.7
OP02	45	55	40	30	50	45	44.2
OP03	50	60	50	40	55	45	50.0
OP04	45	60	45	30	50	45	45.8
OP05	45	60	45	35	50	40	45.8
OP06	50	55	50	35	55	45	48.3
OP07	55	65	55	45	60	50	55.0
OP08	45	60	40	30	50	40	44.2
OP09	45	55	40	30	45	45	43.3
OP10	50	60	45	35	50	45	47.5
Mitjana	47.0	58.5	45.0	34.0	51.0	44.0	46.6

Condició C3 — Kalax+G (amb gamificació)

Codi	D. mental	D. física	D. temporal	Rendiment*	Esforç	Frustració	RAW-TLX
OP01	30	50	30	20	35	25	31.7
OP02	35	55	35	25	40	30	36.7
OP03	40	55	40	35	45	35	41.7
OP04	30	55	35	25	35	30	35.0
OP05	35	55	40	30	40	30	38.3
OP06	30	50	30	25	35	25	32.5
OP07	45	60	50	40	50	45	48.3
OP08	30	55	35	25	35	25	34.2
OP09	30	50	35	20	35	25	32.5
OP10	40	55	40	30	40	30	39.2
Mitjana	34.5	54.0	37.0	27.5	39.0	30.0	37.0

\ Rendiment expressat en l'escala original recodificada (0 = perfecte → menys càrrega; 100 = fracàs).*

2.4. Taula resum: RAW-TLX global i perfil dimensional per condició

Mètrica	C1 (1x1)	C2 (Kalax base)	C3 (Kalax+G)	Δ C1→C3	Δ C2→C3
RAW-TLX global (mitjana)	62.8	46.6	37.0	-25.8	-9.6
Demanda mental	68.5	47.0	34.5	-34.0	-12.5
Demanda física	54.5	58.5	54.0	-0.5	-4.5
Demanda temporal	68.0	45.0	37.0	-31.0	-8.0
Rendiment*	52.0	34.0	27.5	-24.5	-6.5
Esforç	69.0	51.0	39.0	-30.0	-12.0
Frustració	66.0	44.0	30.0	-36.0	-14.0

\ Escala recodificada (menys = millor rendiment percebut).*

Lectura del matís de demanda física. La demanda física és l'única dimensió que **no** descendeix monotònicament: passa de 54.5 (C1) a **58.5 (C2)** — un repunt de +4 punts — abans de tornar a baixar lleugerament a 54.0 (C3). Aquest comportament és **esperat i interpretable**: el treball a l'**Amphora Station** (sorting cooperatiu printer/packer, manipulació a slots amb feedback put-to-light) comporta més moviment localitzat i manipulació concentrada que el caminar dispers del picking 1x1. Tanmateix, aquest increment de ~4 punts queda **àmpliament compensat** per les caigudes molt majors de demanda mental (-21.5 de C1 a C2), temporal (-23.0), esforç (-18.0) i frustració (-22.0). El resultat net és una reducció del RAW-TLX global de 16.2 punts ja amb Kalax base. En C3, fins i tot la demanda física es modera lleugerament (54.0), probablement perquè el repte adaptatiu i la cadència autoregulada redueixen els moviments improductius (coherent amb la caiguda d'inactivitat de les mètriques objectives).

2.5. Interpretació i validació de la hipòtesi H4

Els resultats **confirmen H4**: la gamificació (C3, RAW-TLX = 37.0) redueix de manera consistent la càrrega percebuda respecte de Kalax base (C2, RAW-TLX = 46.6), amb una reducció mitjana de **9.6 punts** (-20.6 % relatiu). La millora es manté en **els 10 operaris/àries** i en cinc de les sis dimensions, sense cap cas de deteriorament de la càrrega global. Aquest resultat refuta empíricament la hipòtesi alternativa que la capa lúdica introdueixi soroll cognitiu: el *layer* gamificat no afegeix complexitat, sinó que **rebaixa** la càrrega subjectiva.

La connexió amb el marc teòric és directa:

- **Reducció de la demanda mental (-12.5 de C2 a C3) — model de Fogg ($B = M \cdot C \cdot T$).** La caiguda més pronunciada es dona a la demanda mental i temporal. La decisió cognitivament costosa "**on va aquest producte?**" deixa de requerir memòria, inferència o consulta: els **LEDs put-to-light** i el **feedback sonor** actuen com a *triggers* que **redueixen el cost de capacitat** (el factor *Ability/Capacity* de Fogg). En baixar el cost de l'acció, el comportament correcte esdevé el camí de mínima resistència i l'operari ja no ha de "carregar" la decisió. Aquesta és la traducció empírica del principi de Fogg al terreny de la càrrega cognitiva.
- **Reducció de la frustració (-14.0 de C2 a C3) — feedback no punitiu i SDT.** La frustració és, juntament amb la demanda mental, la dimensió que més baixa. El feedback de Kalax+G és **immediat, multisensorial i no punitiu**: l'error no es castiga, sinó que es reorienta amb un *trigger* correctiu (a diferència del model coercitiu d'Amazon). Això reforça la **competència percebuda** (SDT) i transforma la sensació d'inseguretat en seguretat i control, en línia amb el Bottle Bank Arcade: una acció rutinària esdevé intrínsecament satisfactòria.
- **Manteniment de l'esforç en zona de Flow — Flow Theory.** L'esforç baixa (-12.0) però **no col·lapsa**: roman en un rang moderat (39.0 de mitjana en C3). Això és coherent amb la **Flow Theory**: el **repte adaptatiu** ajusta la dificultat al nivell d'habilitat per mantenir l'operari a la franja d'engagement òptim (ni avorriment per infraexigència, ni ansietat per sobreexigència). No es busca minimitzar l'esforç fins a zero, sinó situar-lo a la "zona de Flow", on l'esforç es viu com a fluid i no com a càrrega aversiva.
- **Component hedònica i de presència — LBE i Themed Entertainment.** El feedback multisensorial i la presència dissenyada de l'estació generen immersió ambiental, que reemmarca perceptivament la tasca i contribueixen a la baixada de la càrrega emocional sense afegir demanda de gestió.

El cas de l'escèptic Sergi (OP07). Sergi V. (52 anys, 96 mesos d'antiguitat, perfil Hexad *Disruptor*, crític amb modes) presenta de manera consistent el RAW-TLX més alt de la mostra en les tres condicions (C1 = 65.8; C2 = 55.0; C3 = 48.3). Tanmateix —i això és el que valida la robustesa de H4— també millora: redueix 6.7 punts de C2 a C3 i 17.5 punts respecte del control. La seva demanda física es manté la més alta (60–65), coherent amb la seva reticència al sorting cooperatiu, i la seva frustració roman per sobre de la mitjana (45 en C3), reflectint les reserves que manté sobre la capa lúdica. El patró de Sergi és revelador: fins i tot un perfil resistent, que no "compra" la proposta lúdica, experimenta una reducció objectivable de la càrrega cognitiva. Això suggereix que el benefici de Kalax+G no depèn de l'adhesió emocional a la gamificació, sinó de mecanismes funcionals (els *triggers put-to-light*, el feedback no punitiu) que operen amb independència de l'actitud del participant. La naturalesa *opt-in* de la capa lúdica explica que Sergi se'n beneficiï sense haver-hi d'invertir engagement: pot ignorar la capa lúdica i seguir gaudint de la reducció de càrrega estructural.

2.6. Lectura complementària: ponderació de fonts (opcional)

Com a comprovació de robustesa, s'ha aplicat opcionalment la **ponderació de fonts per parells** del NASA-TLX clàssic. En aquest procediment, cada participant compara les sis dimensions per parells (15 comparacions) i el pes de cada dimensió equival al nombre de cops que ha estat seleccionada com a font dominant de càrrega; la puntuació global ponderada (WWL) és la suma dels productes pes×valoració dividida per 15. En la nostra mostra, les dimensions seleccionades amb més freqüència com a dominants van ser **Demanda mental** i **Frustració** (especialment en C1), seguides de **Demanda temporal**. Atès que aquestes són justament les dimensions que més baixen amb Kalax i amb la gamificació, la versió ponderada **amplifica lleugerament** la diferència entre condicions (la reducció C2→C3 ponderada és de l'ordre d'11–12 punts, front als 9.6 del RAW-TLX), reforçant la mateixa conclusió. Atesa l'equivalència direccional i la major parsimònia del RAW-TLX, aquest darrer es manté com a mètrica global principal de l'estudi.

Síntesi. El NASA-TLX valida H4: la càrrega percebuda decreix de manera monotònica i consistent C1 → C2 → C3 (RAW-TLX 62.8 → 46.6 → 37.0). La gamificació aporta una reducció addicional neta de 9.6 punts sobre Kalax base, concentrada en demanda mental, frustració i demanda temporal, mentre que la component d'esforç es manté en zona de Flow. L'únic repunt —demanda física a C2 (+4)— queda àmpliament compensat i s'explica pel treball localitzat a l'Amphora Station.

6. Instrument 3 — User Experience Questionnaire (UEQ)

1. Introducció a l'instrument

El User Experience Questionnaire (UEQ) (Laugwitz, Held & Schrepp, 2008) és un instrument estandarditzat que mesura l'experiència d'usuari de manera ràpida i completa, capturant tant les impressions pragmàtiques com les hedòniques d'una interacció. A diferència del SUS —centrat exclusivament en la usabilitat percebuda— l'UEQ incorpora dimensions afectives i de novetat que resulten crítiques per avaluar la capa de gamificació del sistema Kalax. És precisament en aquestes dimensions hedòniques on s'espera que la gamificació basada en Self-Determination Theory, Flow Theory, Location Based Entertainment (LBE) i Themed Entertainment deixi una empremta que cap mètrica de pura eficiència pot detectar.

L'UEQ consta de **26 ítems** en format de **diferencial semàntic** de 7 punts. Cada ítem oposa dos adjectius antònims; després de recodificar, l'escala resultant va de **−3 (impressió més negativa)** a **+3 (impressió més positiva)**, amb 0 com a punt neutre. Els 26 ítems s'agrupen en **6 escales**:

Bloc	Escala	Naturalesa	Què mesura
Valoració global	Atractiu (Attractiveness)	Global	Impressió general; agrada o no agrada el sistema
Qualitats pragmàtiques	Perspiciuitat (Perspicuity)	Pragmàtica	Facilitat de comprensió i d'aprenentatge
Qualitats pragmàtiques	Eficiència (Efficiency)	Pragmàtica	Es poden resoldre tasques sense esforç innecessari
Qualitats pragmàtiques	Fiabilitat (Dependability)	Pragmàtica	Sensació de control i predictibilitat
Qualitats hedòniques	Estimulació (Stimulation)	Hedònica	És emocionant i motivador usar el sistema
Qualitats hedòniques	Novetat (Novelty)	Hedònica	És innovador, creatiu i capta l'interès

Les escales es reagrupen en dues **meta-dimensions**: les **qualitats pragmàtiques** (perspiciuitat + eficiència + fiabilitat), orientades a la consecució de tasques, i les **qualitats hedòniques** (estimulació + novetat), orientades al plaer i l'estímul. L'**atractiu** funciona com a valoració global que pondera ambdues. Aquesta arquitectura és el motiu pel qual l'UEQ **complementa el SUS**: mentre el SUS satura en el vessant pragmàtic, l'UEQ permet aïllar l'aportació diferencial de la gamificació, que opera fonamentalment sobre el vessant hedònic.

Barem d'interpretació UEQ (escala -3 a +3):

- Valors **> 0,8** → impressió **positiva**.
- Valors entre **-0,8 i +0,8** → zona **neutra**.
- Valors **< -0,8** → impressió **negativa**.

2. Els 26 ítems agrupats per escala (parells de paraules)

#	Escala	Pol esquerre (-3)	Pol dret (+3)
1	Atractiu	molest	agradable
2	Atractiu	dolent	bo
3	Atractiu	desagradable	agradable
4	Atractiu	poc atractiu	atractiu
5	Atractiu	antipàtic	simpàtic
6	Atractiu	desplaent	plaent
7	Perspiciuitat	incomprensible	comprensible
8	Perspiciuitat	difícil d'aprendre	fàcil d'aprendre
9	Perspiciuitat	complicat	senzill

10	Perspicuïtat	confús	clar
11	Eficiència	lent	ràpid
12	Eficiència	ineficient	eficient
13	Eficiència	poc pràctic	pràctic
14	Eficiència	desordenat	organitzat
15	Fiabilitat	imprevisible	previsible
16	Fiabilitat	obstaculitza	dóna suport
17	Fiabilitat	insegur	segur
18	Fiabilitat	no compleix expectatives	compleix expectatives
19	Estimulació	poc valuós	valuós
20	Estimulació	avorrit	emocionant
21	Estimulació	poc interessant	interessant
22	Estimulació	desmotivador	motivador
23	Novetat	sense imaginació	creatiu
24	Novetat	convencional	a l'avantguarda
25	Novetat	conservador	innovador
26	Novetat	corrent	original

3. Mitjanes per escala i operari per condició

Les puntuacions s'han calculat a partir de les respostes ítem a ítem de cada operari i s'han agregat per escala. La columna **Global** és la mitjana de les sis escales (equivalent a la mitjana dels 26 ítems) i és coherent amb les àncores globals del roster.

Taula 3.1 — Condició C1: Picking 1x1 (control)

En C1 **no hi ha producte digital ni gamificació**: l'operari valora l'experiència del mètode tradicional. Les pragmàtiques queden baixes/neutres i les hedòniques (estimulació i novetat) clarament **negatives** —el mètode 1x1 és avorrit i convencional.

Operari	Atractiu	Perspicuïtat	Eficiència	Fiabilitat	Estimulació	Novetat	Global
OP01	0,7	1,3	0,8	0,9	-0,7	-0,6	0,40
OP02	0,8	1,4	1,0	1,0	-0,6	-0,6	0,50
OP03	0,1	0,6	0,2	0,4	-1,2	-1,2	-0,18
OP04	0,6	1,2	0,7	0,8	-0,8	-0,7	0,30
OP05	0,7	1,2	0,8	0,9	-0,7	-0,5	0,40
OP06	0,5	1,0	0,5	0,7	-0,9	-0,6	0,20
OP07	-0,1	0,4	0,0	0,2	-1,4	-1,5	-0,40
OP08	0,8	1,4	1,0	1,0	-0,6	-0,6	0,50
OP09	0,6	1,1	0,7	0,8	-0,7	-0,7	0,30
OP10	0,4	0,9	0,4	0,6	-1,0	-0,7	0,10

Mitjana	0,51	1,05	0,61	0,73	-0,86	-0,77	0,21
---------	------	------	------	------	-------	-------	------

Taula 3.2 — Condició C2: Kalax base (multi-order, sense gamificació)

L'eficiència del multi-order picking i el suport de l'Amphora Station amb feedback put-to-light **disparen les pragmàtiques**. Les hedòniques milloren respecte a C1 i ja entren en terreny positiu, però es mantenen moderades: encara no hi ha XP, progressió ni capa social.

Operari	Atractiu	Perspicuïtat	Eficiència	Fiabilitat	Estimulació	Novetat	Global
OP01	1,6	1,8	1,9	1,7	1,1	0,9	1,50
OP02	1,7	1,9	2,0	1,8	1,2	1,0	1,60
OP03	1,1	1,4	1,4	1,2	0,5	0,4	1,00
OP04	1,5	1,7	1,8	1,6	1,0	0,8	1,40
OP05	1,5	1,7	1,8	1,6	1,0	0,8	1,40
OP06	1,6	1,9	1,9	1,7	1,1	0,8	1,50
OP07	0,9	1,2	1,2	1,0	0,3	0,2	0,80
OP08	1,6	1,8	1,9	1,7	1,1	0,9	1,50
OP09	1,7	1,9	2,0	1,8	1,2	1,0	1,60
OP10	1,3	1,5	1,5	1,4	0,7	0,6	1,20
Mitjana	1,45	1,68	1,74	1,55	0,92	0,74	1,35

Taula 3.3 — Condició C3: Kalax+G (Kalax complet amb gamificació)

La capa de gamificació (XP/progressió, feedback multisensorial, social *opt-in*, repte adaptatiu) fa enlairar les hedòniques fins a valors ~2,3–2,7, mentre les pragmàtiques pugen lleugerament respecte a C2.

Operari	Atractiu	Perspicuïtat	Eficiència	Fiabilitat	Estimulació	Novetat	Global
OP01	2,5	2,2	2,3	2,2	2,6	2,6	2,40
OP02	2,2	2,1	2,2	2,1	2,1	1,9	2,10
OP03	1,6	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3	1,57
OP04	2,4	2,1	2,2	2,1	2,5	2,5	2,30
OP05	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	2,00
OP06	2,6	2,3	2,3	2,2	2,8	2,8	2,50
OP07	1,5	1,6	1,6	1,5	1,2	1,0	1,40
OP08	2,2	2,1	2,2	2,1	2,1	1,9	2,10
OP09	2,4	2,0	2,1	2,1	2,7	3,0	2,38
OP10	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	1,8	1,90
Mitjana	2,14	2,00	2,05	1,98	2,15	2,07	2,07

4. Taula resum: mitjanes per escala, meta-dimensions i benchmark

Taula 4.1 — Mitjana per escala i condició

Escala	Bloc	C1 (1×1)	C2 (Kalax base)	C3 (Kalax+G)	Δ C3–C1
--------	------	----------	-----------------	--------------	---------

Atractiu	Global	0,51	1,45	2,14	+1,63
Perspicuïtat	Pragmàtica	1,05	1,68	2,00	+0,95
Eficiència	Pragmàtica	0,61	1,74	2,05	+1,44
Fiabilitat	Pragmàtica	0,73	1,55	1,98	+1,25
Estimulació	Hedònica	-0,86	0,92	2,15	+3,01
Novetat	Hedònica	-0,77	0,74	2,07	+2,84
Global UEQ	—	0,21	1,35	2,07	+1,86

Taula 4.2 — Qualitats pragmàtiques vs hedòniques per condició

Meta-dimensió	C1 (1x1)	C2 (Kalax base)	C3 (Kalax+G)
Qualitats pragmàtiques (persp.+efic.+fiab.)	0,80	1,66	2,01
Qualitats hedòniques (estim.+novetat)	-0,82	0,83	2,11
Bretxa pragmàtic – hedònic	+1,62	+0,83	-0,10

La **bretxa** és el resultat més revelador: en C1 les pragmàtiques superen les hedòniques en 1,62 punts (mètode funcional però estèril); en C2 la bretxa es redueix però persisteix; en C3 pràcticament **desapareix** (-0,10), senyal que la gamificació equilibra l'experiència aportant precisament allò que faltava.

Taula 4.3 — Benchmark UEQ per a C3 (Kalax+G)

Contrast amb el benchmark de referència UEQ (Schrepp, Hinderks & Thomaschewski, 2017), que classifica cada escala en cinc rangs (Excel·lent / Bo / Sobre la mitjana / Sota la mitjana / Dolent):

Escala	Valor C3	Categoria de benchmark
Atractiu	2,14	Excel·lent (top 10%)
Perspicuïtat	2,00	Excel·lent
Eficiència	2,05	Excel·lent
Fiabilitat	1,98	Excel·lent
Estimulació	2,15	Excel·lent
Novetat	2,07	Excel·lent (especialment notable; la majoria de productes industrials no superen 1,0 en novetat)

Les sis escales de C3 se situen en el rang **Excel·lent**, i la **novetat** és el resultat més distintiu: és una escala on els sistemes de productivitat logística rarament superen valors neutres, i Kalax+G la situa per sobre de 2,0 gràcies a la progressió persistent, al feedback multisensorial i al repte adaptatiu.

5. Interpretació

La **gamificació** dispara sobretot la **capa hedònica**. El patró de dades és inequívoc. Les **qualitats pragmàtiques** ja milloren substancialment amb **Kalax base** (de 0,80 a 1,66): aquesta millora és **estructural del multi-order picking** i del feedback put-to-light de l'Amphora Station —ràpid, eficient, organitzat, fàcil de comprendre— i és independent de la gamificació. En canvi, les **qualitats hedòniques** romanen modestes en C2 (0,83) i només **despeguen en C3** (2,11). Estimulació i novetat experimenten els salts més grans de tot l'estudi (+3,01 i +2,84 respecte a C1), passant de territori clarament negatiu —el picking 1x1 és viscut com a **avorrit i convencional**— a valors d'excel·lència. Aquesta dissociació és exactament la predicció teòrica: la gamificació no és el motor de l'eficiència (que el SUS i les mètriques objectives ja captaven), sinó el motor del **valor experiencial** que cap altre instrument detecta.

Connexió amb la Location Based Entertainment. El salt en novetat i estimulació de C3 és la traducció mètrica de la presència dissenyada: la identitat persistent del perfil i el repte adaptatiu converteixen una rutina d'emmagatzematge en una experiència amb sentit de progrés. El feedback multisensorial dels LEDs i els sons —en termes de LBE— genera presència i immersió ambiental, i és aquesta dimensió la que els ítems "emocionant", "interessant", "a l'avantguarda" i "original" recullen.

Connexió amb l'Octalysis. Els resultats activen sobretot dos *core drives*: el desenvolupament i la realització (la progressió visible dóna sentit d'avanç a la tasca) i la novetat / curiositat (el repte adaptatiu i el feedback multisensorial mantenen viva l'exploració). De manera ètica i no coercitiva —en línia amb la diferenciació respecte d'Amazon— l'estimulació es construeix sobre *white-hat drives* (empoderament, propietat, curiositat) i no sobre escassetat o evitació.

La dimensió que el SUS no capta. Si només disposéssim del SUS, conclouríem que C3 és "millor" que C2 sense entendre *per què*. L'UEQ ho explica: la millora de C3 sobre C2 **no rau en les pragmàtiques** (que ja eren altes amb Kalax base) **sinó en les hedòniques**. És a dir, la gamificació justifica la seva existència no fent el sistema més *usable*, sinó fent-lo més *desitjable i estimulant* —precisament l'argument que sosté l'adhesió a llarg termini i la prevenció de la fatiga rutinària (efecte Bottle Bank Arcade).

Perfil *Free Spirit / Player* — OP09 (Pol G.). El cas de l'OP09 il·lustra el mecanisme amb especial nitidesa. Amb un perfil *Free Spirit / Player* que valora l'autonomia i la novetat, OP09 obté la puntuació de novetat més alta de tota la mostra en C3 (3,0, el màxim de l'escala), juntament amb una estimulació de 2,7. Aquest operari és qui més explora la capa lúdica *opt-in* (perfil, reptes, rànkings), i les seves dades reflecteixen que aquesta configurabilitat és precisament el que satisfà la seva disposició motivacional: l'autonomia de decidir què activa (SDT) es combina amb l'estímul de la novetat per produir l'experiència hedònica màxima. El contrast amb el seu C1 (novetat -0,7) confirma que no és una predisposició general a puntuar alt, sinó una resposta específica a la capa de gamificació. En l'extrem oposat, l'OP07 (Sergi V., *Disruptor* escèptic) manté les puntuacions hedòniques més baixes fins i tot en C3 (novetat 1,0), coherent

amb les seves reserves sobre la capa lúdica —tot i així, reconeix millores reals i situa el global de C3 en 1,40, positiu.

Síntesi. L'UEQ valida que la proposta de valor de la gamificació és **hedònica, no pragmàtica**. Kalax base ja resol l'eficiència; Kalax+G afegeix l'estimulació i la novetat que transformen una eina funcional en una experiència que els operaris troben atractiva, motivadora i innovadora —l'argument central perquè la capa de gamificació tingui sentit dins del sistema.

7. Instrument 4 — Player Experience of Need Satisfaction (PENS)

1. Introducció: el PENS, la seva arrel en la Self-Determination Theory i la seva alineació amb Kalax

El *Player Experience of Need Satisfaction* (PENS; Ryan, Rigby i Przybylski, 2006) és un instrument psicomètric concebut específicament per mesurar com una experiència interactiva satisfà les necessitats psicològiques bàsiques que la **Self-Determination Theory** (SDT; Deci i Ryan, 1985, 2000) postula com a universals i predictores de la motivació intrínseca: **autonomia** (la percepció que un actua per voluntat pròpia i amb capacitat d'elecció), **competència** (la percepció d'eficàcia i de domini progressiu sobre la tasca) i **relació** (la sensació de connexió, pertinença i reconeixement amb els altres). El PENS trasllada aquest nucli teòric al domini de l'experiència de joc, hi afegeix dues dimensions pròpies de les experiències mediades —**immersió/presència** i **controls intuïtius**— i les operativitza en una escala Likert de 7 punts (1 = totalment en desacord; 7 = totalment d'acord).

A diferència d'instruments d'usabilitat genèrica (SUS) o de càrrega (NASA-TLX), que mesuren com de bé funciona un sistema, el PENS mesura per què un sistema resulta motivacionalment satisfactori. Aquesta és precisament la pregunta central del disseny de Kalax. La capa de gamificació de Kalax no s'ha dissenyat ad hoc, sinó des d'un mapatge explícit entre mecàniques i necessitats SDT: la progressió per XP/nivells i el feedback multisensorial en temps real (LEDs *put-to-light*, sons, micro-confirmacions) busquen competència i estats de Flow (Csíkszentmihályi, 1990); el caràcter *opt-in* de la capa lúdica i la configurabilitat de l'exposició social busquen autonomia i respecten la diversitat motivacional del model Hexad (Marczewski, 2015), evitant la coerció punitiva característica de models com el d'Amazon; i la cooperació estructural printer/packer a l'Amphora Station, sumada a la capa social *opt-in* (*kudos*, reptes d'equip), busca relació activant la palanca d'influència social del marc Octalysis (Chou, 2015). El PENS és, doncs, l'instrument més directament alineat amb el marc teòric de Kalax: les seves cinc subescales mapegen un a un sobre els tres pilars SDT del disseny, més la dimensió de presència que vincula Kalax amb la Location Based Entertainment (LBE) i el Themed Entertainment.

2. Ítems de l'instrument adaptats a Kalax

Subescala	Codi	Ítem (adaptat a Kalax)
Competència	COMP1	"Em sento competent fent la feina amb aquest sistema."
	COMP2	"El sistema em dóna una sensació clara de progrés i de domini de la tasca."
	COMP3	"Assoleixo els objectius de la sessió amb eficàcia."
Autonomia	AUT1	"Sento que tinc opcions sobre com faig la feina."
	AUT2	"El sistema respecta el meu ritme i les meves decisions."
	AUT3	"Faig la feina perquè vull fer-la bé, no només perquè m'hi obliguen."
Relació	REL1	"Em sento connectat/da amb els companys/es mentre faig servir el sistema."
	REL2	"El sistema afavoreix la col·laboració amb l'equip (printer/packer)."
	REL3	"Sento que la meva feina és reconeguda pels companys/es."
Immersió/Presència	IMM1	"Mentre treballa amb el sistema, em sento immers/a en la tasca i m'oblido de l'entorn."
	IMM2	"El temps passa de pressa: perdo la noció de les hores mentre treballa."
	IMM3	"L'entorn de treball (estació, llums, sons) es torna envoltant i m'absorbeix."
Controls intuïtius	CTRL1	"Els controls i la interfície del sistema em resulten naturals."
	CTRL2	"No haig de pensar en com fer servir el sistema: respon com espero."
	CTRL3	"La interfície no interfereix entre la meva intenció i l'acció."

Nota. En la condició C1 (picking 1x1) els ítems de la subescala Controls intuïtius i Immersió/Presència es van administrar referint-los al mètode prescrit (paper de comanda + recorregut), de manera que el participant valorés l'experiència del procediment tradicional. Tots els ítems es puntuen en escala 1–7; la puntuació de subescala és la mitjana dels seus tres ítems.

3. Mitjanes per subescala i operari, per condició

Taula 3.1 — Condició C1 (Picking 1x1, control)

Operari	Autonomia	Competència	Relació	Immersió/Presència	Controls intuïtius
OP01	3.0	3.2	2.8	2.7	3.3
OP02	3.2	3.4	3.0	2.8	3.4
OP03	2.6	3.0	2.4	2.4	3.0
OP04	3.0	3.0	3.2	2.6	3.1
OP05	3.0	3.2	3.0	2.7	3.2
OP06	2.8	2.8	2.8	2.5	2.9
OP07	2.6	3.0	2.6	2.3	2.9
OP08	3.2	3.2	3.0	2.8	3.3
OP09	3.0	3.0	2.8	2.6	3.1
OP10	2.8	3.0	2.8	2.5	3.0
Mitjana	2.92	3.08	2.84	2.59	3.12

Taula 3.2 — Condició C2 (Kalax base, sense gamificació)

Operari	Autonomia	Competència	Relació	Immersió/Presència	Controls intuïtius
OP01	4.6	5.0	4.0	4.3	5.2
OP02	4.8	5.2	4.2	4.4	5.4
OP03	4.2	4.6	3.6	3.9	4.8
OP04	4.6	4.8	4.6	4.2	5.0
OP05	4.6	4.8	4.2	4.2	5.0
OP06	4.6	5.0	4.2	4.4	5.2
OP07	4.0	4.4	3.4	3.7	4.6
OP08	4.8	5.0	4.4	4.3	5.2
OP09	4.8	5.0	4.0	4.4	5.3
OP10	4.4	4.6	4.0	4.0	4.9
Mitjana	4.54	4.84	4.06	4.18	5.06

Taula 3.3 — Condició C3 (Kalax+G, amb gamificació)

Operari	Autonomia	Competència	Relació	Immersió/Presència	Controls intuïtius
OP01	6.0	6.4	5.6	6.0	6.1
OP02	5.8	6.2	5.2	5.7	6.0
OP03	5.4	5.8	4.8	5.2	5.6
OP04	5.8	6.0	6.2	6.0	5.9

OP05	5.6	5.8	5.4	5.6	5.8
OP06	6.2	6.4	5.6	6.1	6.2
OP07	5.0	5.4	4.4	4.8	5.3
OP08	5.8	6.0	5.4	5.8	6.0
OP09	6.0	6.2	5.4	6.0	6.1
OP10	5.4	5.8	5.2	5.4	5.7
Mitjana	5.70	6.00	5.32	5.66	5.97

4. Taula resum: mitjanes per subescala i condició

Subescala	C1 (1x1)	C2 (Kalax base)	C3 (Kalax+G)	$\Delta C2 \rightarrow C3$	$\Delta C1 \rightarrow C3$
Autonomia	2.92	4.54	5.70	+1.16	+2.78
Competència	3.08	4.84	6.00	+1.16	+2.92
Relació	2.84	4.06	5.32	+1.26	+2.48
Immersió/Presència	2.59	4.18	5.66	+1.48	+3.07
Controls intuïtius	3.12	5.06	5.97	+0.91	+2.85

Comentari. En termes absoluts, la competència és la subescala més alta en les tres condicions (3.08 $\rightarrow$ 4.84 $\rightarrow$ 6.00), coherent amb el fet que Kalax fa visible el progrés. Tanmateix, **la necessitat que més creix amb la incorporació de la gamificació ($\Delta C2 \rightarrow C3$ dins de les tres subescales SDT nuclears) és la relació (+1.26)**, per davant d'autonomia i competència (+1.16 cadascuna). Aquest patró té sentit teòric: l'eficiència i el feedback de competència ja són en bona part estructurals del mètode Kalax base (multi-order + LEDs), de manera que el salt marginal que aporta la gamificació es concentra en allò que C2 no oferia: la capa social explícita (kudos, reptes d'equip, visibilitat del reconeixement entre companys). Si s'inclou la dimensió de presència, és la immersió la que registra el creixement més gran de tot l'instrument (+1.48 de C2 a C3), reflectint l'efecte del feedback multisensorial i de la presència dissenyada.

5. Interpretació i validació de la hipòtesi H5

La **hipòtesi H5** postula que *la gamificació (C3) incrementa el PENS en les tres subescales SDT respecte de Kalax base (C2)*. Les dades la confirmen sense excepcions: les mitjanes de C3 superen les de C2 en autonomia (5.70 > 4.54), competència (6.00 > 4.84) i relació (5.32 > 4.06), i el patró ordinal C3 > C2 > C1 es manté a totes cinc subescales i en els deu participants individualment. **H5 queda validada.** A continuació es connecta cada subescala amb les mecàniques concretes de Kalax i el seu fonament teòric.

Autonomia $\leftrightarrow$ capa opt-in i configuració de l'experiència. L'increment d'autonomia (de 4.54 a 5.70) és atribuïble al caràcter voluntari de la capa de gamificació i a la possibilitat de configurar el nivell d'exposició social i de repte. Aquest disseny respon directament a la diversitat motivacional del model

Hexad: no imposa una única forma de jugar, sinó que ofereix opcions, evitant la lògica coercitiva i punitiva (tipus Amazon) que mina l'autonomia. El cas paradigmàtic és **OP03 (Jordi, Free Spirit)**, veterà inicialment escèptic: la seva autonomia puja de 4.2 (C2) a 5.4 (C3), el creixement més pronunciat del seu perfil precisament en la dimensió que el caracteritza, perquè la possibilitat d'optar i de mantenir el control del ritme desactiva la seva resistència. **OP09 (Pol, Free Spirit/Player)** mostra el mateix patró (4.8 → 6.0), consistent amb el seu gust per explorar les opcions del sistema.

Competència ↔ XP, feedback i Flow. L'autonomia i la competència empaten en magnitud de creixement (+1.16), però la competència parteix i acaba en els nivells absoluts més alts (6.00 en C3). Això s'explica per la progressió per XP/nivells i pel feedback immediat i no ambigu (LEDs *put-to-light*, micro-confirmacions sonores), que satisfan les condicions de Flow (objectius clars, feedback immediat, equilibri repte-habilitat ajustat pel repte adaptatiu). Els perfils **Player/Achiever** són els que més en treuen profit: **OP01 (Marc, Player/Achiever)** assoleix 6.4 i **OP06 (Laia, Player)** també 6.4, els valors màxims de competència de tota la mostra, coherents amb la seva orientació a la mestria i a pujar de nivell. La nova incorporació (Laia) il·lustra a més com l'onboarding gamificat redueix la corba d'aprenentatge fins a sentir-se altament competent.

Relació ↔ cooperació printer/packer i kudos. És la subescala amb el creixement marginal més gran entre C2 i C3 (+1.26), perquè la cooperació estructural i la capa social opt-in (kudos, reptes d'equip) materialitzen la palanca d'influència social del marc Octalysis, que el Kalax base encara no activava de manera explícita. El cas més clar és **OP04 (Aina, Socialiser)**, l'única participant la subescala dominant de la qual en C3 és la relació (6.2), per sobre fins i tot de la seva competència (6.0): el reconeixement entre companys i el repte d'equip són exactament allò que el seu perfil més valora, i la dada ho reflecteix nítidament. Els perfils Philanthropist (OP05, OP10) mostren també guanys sòlids en relació, coherents amb la seva disposició a ajudar i amb el to no punitiu del sistema.

Immersió/Presència com a evidència de presència LBE. La immersió registra el creixement més gran de tot l'instrument de C2 a C3 (+1.48) i de C1 a C3 (+3.07). Aquest resultat és l'evidència empírica més directa que Kalax+G funciona com una experiència de *Location Based Entertainment*: el feedback multisensorial i la identitat persistent del perfil transformen l'estació de treball en un entorn envoltant que absorbeix l'operari i li distorsiona la percepció del temps —dos marcadors clàssics tant de la presència LBE com de l'estat de Flow. Els valors d'immersió de C1 (2.59 de mitjana, els més baixos de tot l'instrument) confirmen, per contrast, que el mètode 1x1 prescrit no genera cap mena d'envoltament.

Controls intuïtius. Tot i no formar part del nucli SDT, aquesta subescala documenta que la usabilitat de base de Kalax ja és molt alta en C2 (5.06) i només millora marginalment en C3 (+0.91, el menor increment). Això és teòricament desitjable: confirma que els guanys de C3 en les subescales SDT i

d'immersió **no** s'expliquen per una millora de la interfície, sinó per la capa motivacional, atès que la naturalitat dels controls ja estava resolta en el sistema base.

El cas de C1 (picking 1x1). Les puntuacions baixes i homogènies de C1 (totes les subescales entre 2.59 i 3.12) són coherents amb un treball prescrit que frustra simultàniament les tres necessitats: autonomia mínima (recorregut i ordre imposats), competència poc visible (absència de feedback de progrés) i relació pràcticament absent (treball individual i seqüencial, sense cooperació estructurada). Aquest sòl motivacional és el contrast que dóna significat als guanys observats en C2 i, sobretot, en C3.

Síntesi. El patró conjunt valida H5 i, més enllà, ofereix una lectura matisada del valor diferencial de la gamificació: mentre que l'eficiència objectiva (temps, error) és atribuïble al mètode Kalax base, **el guany psicològic en satisfacció de necessitats —i molt especialment en relació i en presència immersiva— és específicament atribuïble a la capa de gamificació dissenyada des de la SDT.** Els perfils Hexad es comporten com el marc teòric prediu (Aina/Socialiser en relació, Marc i Laia/Players en competència, Jordi/Free Spirit en autonomia), la qual cosa reforça la validesa de constructe de l'instrument i del disseny.

8. Instruments qualitius i mètriques objectives

Aquesta secció presenta els resultats dels instruments de caràcter qualitatiu i de les mètriques objectives registrades automàticament durant la campanya de validació del sistema Kalax. S'estructura en tres blocs complementaris: (A) el Think-Aloud Protocol aplicat durant la condició C3 (Kalax+G), (B) la matriu de feedback estructurat per condicions i (C) les mètriques objectives de rendiment. El disseny és within-subjects, de manera que cadascun dels deu operaris/àries va experimentar consecutivament les tres condicions: **C1** (picking 1x1, control), **C2** (Kalax base, multi-order sense gamificació) i **C3** (Kalax+G, sistema complet amb capa de gamificació). L'ordre de C2 i C3 es va contrabalançar entre participants.

Bloc A — Think-Aloud Protocol (Ericsson i Simon, 1993)

A.1. Nota metodològica

S'aplicà un Think-Aloud Protocol parcial (concurrent verbal protocol) durant la condició C3 (Kalax+G), seguint el marc clàssic d'Ericsson i Simon (1993). Es demanà als participants que verbalitzessin en veu alta els seus pensaments mentre executaven les tasques de picking i packing. Atès que la verbalització contínua pot interferir amb tasques motrius i d'atenció sostinguda, s'optà per una modalitat **prompted** o a petició: el facilitador convidava a verbalitzar aproximadament cada cinc minuts ("Què estàs pensant ara mateix?", "Explica'm què fas"), de manera no intrusiva, sense interrompre el flux de treball.

Les sessions es van enregistrar en àudio (amb consentiment informat i anonimat, d'acord amb el RGPD) i es van transcriure verbatim. La codificació seguí una aproximació temàtica mixta (Braun i Clarke, 2006): es partí d'una **graella inicial deductiva** amb vuit codis derivats del marc teòric —*engagement*, *confusió*,

frustració, satisfacció, competència, autonomia, relació i immersió— complementada amb **codis emergents inductius** identificats durant l'anàlisi. Dos codificadors van treballar independentment una mostra del corpus; la concordança intercodificadors (Cohen's κ) fou de **0,82**, considerada substancial. Les discrepàncies es van resoldre per consens.

A.2. Transcripcions Think-Aloud (mostra representativa)

Es presenten quatre transcripcions corresponents a perfils Hexad i disposicions diferenciades, seleccionades per maximitzar la diversitat de perspectives.

OP06 — Laia F. (22 anys, 5 mesos d'antiguitat; Hexad: Player; nova incorporació, gran jugadora)

00:00 — Vale, doncs... a veure. M'ha sortit el primer lot a la pantalla. Tres comandes alhora, diu. Al principi pensava que em faria un embolic, eh, però mira, l'app em va dient slot per slot. Ah, i la llum taronjadel prestatge se m'encén sola. Guai, així no he de buscar.

05:00 — Ostres, ja porto... no sé quantes. He pujat de nivell fa un moment, ha sonat un "ding" i m'ha aparegut una barra. M'ha fet gràcia perquè és tonto, però et pica. Vull arribar al següent. Aquesta d'aquí (assenyala) era la que em costava el primer dia i ara ni hi penso.

10:00 — Verd! Quan acabo una comanda sencera tots els LEDs es posen verds de cop i fa un so com de... no sé, com quan completes algo. M'agrada perquè saps que ho has fet bé, no t'has de quedar amb el dubte. L'altre dia, amb el mètode normal, mai sabia si m'havia deixat algo, és com que smpre has d'anar mirant la pantalla i aquí no. Bé bé..

15:00 — Pff, ni m'havia adonat de l'hora. Pensava que portava deu minuts i en porten... bastants més. Amb el tutorial aquell del principi ho he pillat súper ràpid, eh, no com quan vaig entrar que em sentia perduda. Ara és com estar jugant, però cobrant jajajaja

OP03 — Jordi P. (47 anys, 71 mesos d'antiguitat; Hexad: Free Spirit; veterà escèptic)

01:30 — Mira, jo ja porto sis anys aquí. Sé fer la meva feina. Tot això de les llums i els jocs... ja veurem, jajajajaja (silenci) Bé, s'encén de color groc, entenc que aquí és on ho haig de deixar... Això no està malament, t'ho reconec, no haig de mirar la pantalla cada dos per tres.

04:32 — *El que m'agrada és que ningú em diu res. Vaig al meu ritme. La màquina no em renya si vaig una mica més lent, no com aquells vídeos d'Amazon que t'estan controlant tot el dia.*

8:39 — *He de dir que vaig més de pressa del que pensava. Tres comandes de cop i no em faig un lio. Abans una per una, anava i tornava, anava i tornava... ara ho munto tot junt. Això sí que té més sentit...*

18:00 — *La puntuació aquesta de nivells...ni l'havia vist la veritat. Però que m'estalviï passos i no m'equivoqui, això sí. El verd quan acabes està bé per saber que ja està. No és cap revolució, però funciona.*

OP04 — Aina M. (28 anys, 14 mesos d'antiguitat; Hexad: Socialiser)

03:00 — *Avui faig de packer a l'estació amb en Pol pickejant. M'agrada això, que som dos en el mateix flux. Vaig veient com m'arriben les coses i les llums em diuen a quina caixa van. Està guapo jajaja*

11:00 — *El ranking aquest està molt guai sincerament, el miro bastant eh, no per competir ni res, sinó perquè et pica una mica fer-ho ben fet. Competència sana, diguem.*

13:00 — *La coordinació amb el picker és lo millor. Quan ell em porta una handbag plena ja començo agafant els productes a full i col·locant-los. Mira ja estic quasi acabant*

15:00 — *M'ho passo bé, la veritat. No és només feina-feina. El fet de veure els companys al making, la taula... fa que vingui de gust. I no et castiga si un dia vas més fluixa, simplement no sumes tant i ja, no resta saps?*

OP07 — Sergi V. (52 anys, 96 mesos d'antiguitat; Hexad: Disruptor; el més reticent)

01:10 — *A veure, jo amb les llumetes aquestes nose si m'enteraré gaire sóc escèptic, ja t'ho dic d'entrada. Porto molts anys treballant i acostumat a no tenir-ne, potser se'm fa estrany. (pausa) La llum groga... ah vale ara entenc jajaja. Potser el que costa més és entendre que has de picar el slot també*

07:23 — He de ser honest: l'error. Abans em deixava coses, ara amb les llums i el verd al final no se m'escapa res. Això està bé que no em deixi continuar si m'equivoco perquè així segur que no la lio jajajajaja.

15:00 — Els punts i els nivells... per a la chavaleria està bé però a mi em dona igual. A mi no m'enganxa. Però reconec que vaig més ràpid i m'equivoco menys. Si em preguntes, em quedo amb això abans que amb el sistema vell. El joc potser em dona més igual, però la resta funciona perfecte

A.3. Taula de codificació temàtica

Freqüència d'aparició dels codis sobre el corpus complet de les deu transcripcions de C3 (n = 10 participants; recompte de segments codificats).

Codi	Tipus	Definició operativa	Freq.	Exemple de verbatim
Engagement	Deductiu	Implicació activa, ganes de continuar, atenció sostinguda voluntària	41	"és tonto, però et pica. Vull arribar al següent" (OP06)
Competència	Deductiu	Percepció d'eficàcia, domini de la tasca, sentir-se capaç	38	"vaig més de pressa del que pensava... no em faig un embolic" (OP03)
Satisfacció	Deductiu	Plaer o gratificació amb el feedback i el resultat	35	"tots els LEDs es posen verds de cop... M'agrada" (OP06)
Autonomia	Deductiu	Sentit de control, llibertat d'elecció, absència de coerció	29	"El que m'agrada és que ningú em diu res. Vaig al meu ritme" (OP03)
Immersió	Deductiu	Absorció en l'entorn, presència, ambient envoltant	24	"ni m'havia adonat de l'hora... Ara és com jugar" (OP06)
Relació	Deductiu	Connexió amb companys, cooperació, pertinença	22	"som dos en el mateix flux... ens entenem sense parlar" (OP04)
Confusió	Deductiu	Dubte o desorientació momentània (majoritàriament inicial)	11	"Al principi pensava que em faria un embolic" (OP06)
Frustració	Deductiu	Irritació, molèstia, sensació de bloqueig	6	"si m'obliguessin a mirar nauetes ja t'hauria dit alguna cosa" (OP07)
Competència sana	Emergent	Motivació per comparació no hostil amb companys (leaderboard)	18	"et pica una mica fer-ho ben fet. Competència sana, diguem" (OP04)

Ritual d'equip	Emergent	Coordinació sincrònica picker-packer viscuda com a rutina compartida	14	"Quan ell tanca... em surt el verd a mi també... un ritme entre els dos" (OP04)
Orgull pel nivell	Emergent	Valoració identitària de la progressió i el perfil persistent	12	"He pujat de nivell fa un moment... Vull arribar al següent" (OP06)
Reconeixement reticent	Emergent	Admissió de millores reals tot mantenint reserves sobre la capa lúdica	9	"El joc me'l puc estalviar, però la resta funciona" (OP07)
Diferenciació anti-punitiva	Emergent	Valoració del to no coercitiu en contrast amb models de control	8	"no et castiga si un dia vas més fluixa... no com aquells vídeos d'Amazon" (OP04, OP03)

A.4. Síntesi dels temes dominants

L'anàlisi temàtica revela quatre temes dominants que reforcen el marc teòric del treball.

(1) Flow i pèrdua de la noció del temps. Diversos participants verbalitzen espontàniament la sorpresa pel temps transcorregut ("ni m'havia adonat de l'hora", OP06), un dels indicadors clàssics de l'estat de Flow (Csíkszentmihályi). La combinació d'objectius clars (slots assenyalats), feedback immediat (LEDs i sons) i un equilibri repte-habilitat sostingut pel repte adaptatiu sembla afavorir l'absorció en la tasca. El codi *engagement* (41 aparicions) és el més freqüent del corpus.

(2) LBE: l'espai esdevé envoltant. Les verbalitzacions sobre les llums put-to-light i el feedback multisensorial confirmen el principi de la Location Based Entertainment: l'entorn físic es transforma en un escenari amb resposta sensorial immediata. El feedback verd de comanda completada actua de manera anàloga al cas del Bottle Bank Arcade, fent intrínsecament satisfactòria una acció rutinària ("quan acabes... saps que ho has fet bé, no t'has de quedar amb el dubte", OP06).

(3) Feedback no punitiu i reducció de la frustració. El codi *frustració* presenta la freqüència més baixa de la graella deductiva (6 aparicions), mentre que emergeix amb força el codi *diferenciació anti-punitiva*. Els participants valoren explícitament l'absència de coerció i el contrast amb models de control intensiu ("la màquina no em renya", OP03; "no et castiga si un dia vas més fluixa", OP04), validant la diferenciació ètica respecte de pràctiques com les atribuïdes a Amazon i alineant-se amb la SDT (autonomia preservada).

(4) Competència, relació i autonomia (SDT). Els tres pilars de la Self-Determination Theory apareixen consistentment: la competència via percepció de domini i reducció d'errors, la relació via cooperació picker-packer i kudos (codi emergent *ritual d'equip*), i l'autonomia via configuració opt-in i ritme propi. El cas d'OP07 il·lustra el patró de *reconeixement reticent*: fins i tot el participant més escèptic acaba

admetent millores reals (menys errors, més velocitat, no-pressió), tot conservant distància respecte de la capa lúdica —una resposta plenament coherent amb el disseny opt-in pensat per a la diversitat motivacional Hexad.

Bloc B — Matriu de feedback estructurat

B.1. Nota metodològica

Després de cada condició, cada operari/ària va completar una graella de feedback estructurat indicant **3 punts positius, 3 punts negatius i 1 proposta de millora prioritària**. A continuació es presenta la matriu completa per a C3 (Kalax+G) amb els deu participants, seguida d'una matriu resum agregada per a C1 (1x1) i C2 (Kalax base), i d'una taula de patrons recurrents.

B.2. Matriu completa — C3 (Kalax+G)

Codi	Punts positius (3)	Punts negatius (3)	Millora prioritària
OP01 Marc	(1) Pujar de nivell motiva moltíssim; (2) feedback sonor immediat i satisfactori; (3) multi-order molt àgil	(1) Vol més recompenses desbloquejables; (2) so repetitiu a la llarga; (3) leaderboard només individual	Afegir reptes setmanals i recompenses cosmètiques per al perfil
OP02 Núria	(1) Reducció d'errors notable; (2) feedback de competència clar; (3) sensació de domini	(1) Capa lúdica poc rellevant per a ella; (2) algun so innecessari; (3) trigar a veure estadístiques pròpies	Panell personal d'estadístiques de precisió detallades
OP03 Jordi	(1) Autonomia: configuració opt-in i ritme propi; (2) menys passos que 1x1; (3) to no punitiu	(1) Gamificació "no li diu res"; (2) capa lúdica sobrerera per a ell; (3) LEDs massa brillants a estones	Opció de perfil "sobri" que minimitzi elements lúdics
OP04 Aina	(1) Kudos i reconeixement entre companys; (2) cooperació picker-packer fluida; (3) leaderboard motivador	(1) Voldria reptes d'equip, no només individuals; (2) social una mica limitat; (3) pocs moments de celebració col·lectiva	Leaderboard i reptes també per equips, no només individuals
OP05 David	(1) Onboarding excel·lent per a nous; (2) to no punitiu i amable; (3) ajuda a acompanyar companys	(1) Pocs elements col·laboratius explícits; (2) sons no configurables; (3) progressió massa centrada en l'individu	Mode mentor per ajudar i acompanyar nous amb reconeixement
OP06 Laia	(1) Corba d'aprenentatge molt curta; (2) progressió addictiva i clara; (3) immersió ("com jugar")	(1) Vol més fites desbloquejables; (2) confusió inicial breu el	Més insígnies, nivells i reptes per desbloquejar

		primer lot; (3) voldria veure el progrés d'altres	
OP07 Sergi	(1) Reducció d'errors real i tangible; (2) absència de pressió/control; (3) llum groga útil per localitzar	(1) La capa lúdica li sembla infantil; (2) punts i nivells no l'enganxen; (3) massa estímuls visuals junts	Mode silenciós/professional pur sense capa lúdica visible
OP08 Marta	(1) Caiguda clara de fatiga mental; (2) feedback multisensorial ben dosificat; (3) polivalència picker/packer	(1) Demanda física lleugerament superior a l'estació; (2) sons no ajustables; (3) leaderboard pot estressar en punta	So configurable i mode silenciós en hores punta
OP09 Pol	(1) Varietat de reptes i progressió divertida; (2) novetat i estímul constants; (3) autonomia d'exploració	(1) Voldria encara més personalització; (2) alguna animació poc polida; (3) recompenses previsible	Editor de perfil i més opcions de personalització
OP10 Berta	(1) Sistema fiable i robust; (2) reducció d'errors convincent; (3) to respectuós i no coercitiu	(1) Inici una mica abassegador d'informació; (2) capa lúdica secundària per a ella; (3) LEDs intensos	Tutorial inicial més graduat i intensitat de LED regulable

B.3. Matriu resum — C1 (1x1) i C2 (Kalax base): patrons agregats

C1 — Picking 1x1 (control)

	Patrons recurrents
Positius agregats	Mètode conegut i familiar (8/10); senzillesa conceptual "una comanda cada cop" (6/10); cap corba d'aprenentatge (5/10)
Negatius agregats	Molts desplaçaments redundants anada-tornada (9/10); lentitud i baix throughput percebut (8/10); incertesa sobre si la comanda és completa/correcta (7/10); monotonia i manca de feedback (6/10); més errors per descuit (5/10)
Millores prioritàries	Agrupar comandes per evitar trajectes repetits; algun tipus de confirmació de comanda completada

C2 — Kalax base (multi-order + LEDs, sense gamificació)

	Patrons recurrents
Positius agregats	El multi-order estalvia molts passos i és molt més ràpid (10/10); les LEDs put-to-light guien i redueixen errors (9/10); el verd de comanda completada dona

	seguretat (8/10); menys càrrega mental que 1x1 (7/10)
Negatius agregats	Manca d'estímul/reconeixement, "fa la feina però és pla" (6/10); demanda física de l'estació de sorting lleugerament superior (5/10); poca sensació de progrés personal (5/10); sons/llums no configurables (4/10)
Millores prioritàries	Afegir alguna forma de reconeixement o progrés; permetre regular sons i intensitat de LED

B.4. Taula de patrons recurrents (positius i negatius més freqüents, per condició)

Condició	Patró POSITIU dominant	Recompte	Patró NEGATIU dominant	Recompte
C1 1x1	Familiaritat del mètode	8/10	Desplaçaments redundants	9/10
C1 1x1	Senzillesa conceptual	6/10	Incertesa de comanda completa	7/10
C2 Kalax base	Multi-order àgil (menys passos)	10/10	Manca d'estímul/reconeixement	6/10
C2 Kalax base	LEDs guien i redueixen errors	9/10	Demanda física de l'estació	5/10
C3 Kalax+G	Reducció d'errors (LED + verd final)	9/10	Sons/LED no configurables	4/10
C3 Kalax+G	Progressió/engament motivador	7/10	Capa lúdica irrellevant per a perfils no lúdics	3/10
C3 Kalax+G	To no punitiu i autonomia opt-in	7/10	Social/reptes limitats a l'individu	3/10

S'observa una progressió clara: els punts negatius dominants es desplacen de problemes **estructurals i greus** en C1 (desplaçaments, incertesa) cap a mancances **funcionals i resolubles** en C2 (manca d'estímul, configurabilitat) i, finalment, cap a peticions de **refinament i personalització** en C3 (sons ajustables, més fites, reptes d'equip). La proposta de millora més transversal en C3 és la configurabilitat del feedback (so/LED) i un mode "professional sobri" per als perfils menys lúdics —coherent amb el principi opt-in i la diversitat Hexad.Bloc C — Mètriques objectives

C.1. Nota metodològica

Les quatre mètriques de rendiment es van registrar **automàticament** per part del sistema en les tres condicions, sense intervenció del facilitador, garantint l'objectivitat i l'absència de biaix de desitjabilitat social. Definicions operatives:

- **Temps per ordre** (min/comanda): temps mitjà per completar una comanda. *Més baix = millor*.

- **Taxa d'error (%)**: percentatge de productes col·locats en slot o comanda incorrecta. *Més baix = millor.*
- **Throughput (comandes/hora)**: comandes completades per hora. *Més alt = millor.*
- **Inactivitat (%)**: percentatge de temps de sessió sense activitat productiva registrada (desplaçaments improductius, dubtes, esperes). *Més baix = millor.*

C.2. Taula completa per operari i condició

Codi	Temps/ordre (min) C1/C2/C3	Taxa d'error (%) C1/C2/C3	Throughput (com./h) C1/C2/C3	Inactivitat (%) C1/C2/C3
OP01	2,9 / 1,8 / 1,6	3,1 / 1,4 / 0,9	21 / 33 / 37	14 / 8 / 5
OP02	2,8 / 1,7 / 1,6	2,6 / 1,2 / 0,8	22 / 35 / 38	12 / 7 / 5
OP03	3,3 / 2,1 / 1,9	3,6 / 1,8 / 1,3	18 / 29 / 32	17 / 11 / 8
OP04	3,0 / 1,9 / 1,7	3,0 / 1,5 / 1,0	20 / 32 / 35	15 / 9 / 6
OP05	3,0 / 1,9 / 1,7	2,9 / 1,4 / 1,0	20 / 32 / 35	14 / 9 / 6
OP06	3,4 / 2,0 / 1,7	3,8 / 1,6 / 0,9	17 / 30 / 35	18 / 10 / 6
OP07	3,2 / 2,2 / 2,0	3,4 / 1,9 / 1,5	19 / 28 / 31	16 / 12 / 9
OP08	2,9 / 1,8 / 1,6	2,8 / 1,3 / 0,9	21 / 34 / 37	13 / 8 / 5
OP09	2,9 / 1,8 / 1,6	3,0 / 1,4 / 0,9	21 / 33 / 37	13 / 8 / 5
OP10	3,1 / 2,0 / 1,8	3,2 / 1,6 / 1,1	19 / 31 / 34	15 / 10 / 7

C.3. Taula resum: mitjanes per condició i variació percentual

Mètrica	C1 (1x1)	C2 (Kalax base)	C3 (Kalax+G)	Var. C1→C2	Var. C2→C3
Temps per ordre (min)	3,05	1,92	1,72	-37,0 %	-10,4 %
Taxa d'error (%)	3,14	1,51	1,03	-51,9 %	-31,8 %
Throughput (com./h)	19,8	31,7	35,1	+60,1 %	+10,7 %
Inactivitat (%)	14,7	9,2	6,2	-37,4 %	-32,6 %

C.4. Interpretació i validació d'hipòtesis

Validació de H1 (Kalax redueix el temps per ordre vs 1x1). Les dades confirmen H1 de manera contundent: el temps per ordre cau de 3,05 min (C1) a 1,92 min amb Kalax base (C2), una reducció del **37,0 %**. El salt decisiu es produeix, doncs, **ja amb C2**, abans de qualsevol capa de gamificació. Això evidencia que la millora d'eficiència temporal és un **efecte estructural del multi-order picking** i de l'arquitectura Amphora Station, no de la gamificació. La condició C3 afegeix una millora addicional menor (-10,4 % addicional, fins a 1,72 min), però la magnitud és clarament secundària respecte del guany estructural de C2.

Validació de H2 (Kalax redueix la taxa d'error vs 1x1). H2 també queda confirmada de manera robusta: la taxa d'error es redueix de 3,14 % (C1) a 1,51 % amb Kalax base (C2), una caiguda del **51,9 %**. De nou, el salt fonamental apareix amb C2: el feedback put-to-light (LEDs grocs en assignar, verd en completar) funciona com a **trigger en el sentit del model de comportament de Fogg ($B = M \cdot C \cdot T$)**, reduint el cost de capacitat (l'operari no ha de recordar ni cercar l'slot) i actuant com a senyal de confirmació que prevé l'error. C3 hi afegeix una reducció addicional notable (-31,8 % addicional, fins a 1,03 %), atribuïble a l'atenció sostinguda i la cura associades a l'estat d'engagement.

El matís clau: eficiència estructural (C2) vs valor incremental de la gamificació (C3). La lectura conjunta de les mètriques objectives obliga a un matís central per a la discussió del treball. L'eficiència mesurable —temps i error— és majoritàriament **estructural del mètode multi-order i del feedback put-to-light**, i ja es manifesta plenament amb Kalax base (C2). La capa de gamificació (C3) aporta millores objectives **reals però d'ordre menor** en aquestes dues mètriques. El veritable valor diferencial de la gamificació no rau, per tant, en l'eficiència bruta, sinó en les dimensions **experiencials i de càrrega**: engagement, satisfacció i reducció de càrrega percebuda, que es capturen en els instruments SUS (H3), UEQ, PENS (H5) i NASA-TLX (H4). En altres paraules, C2 fa el sistema *eficient*; C3 el fa *eficient i motivador i sostenible per a la persona*.

Connexió amb Flow i reducció d'inactivitat. La mètrica d'inactivitat il·lustra bé aquesta articulació. Cau del 14,7 % (C1) al 9,2 % (C2) per l'eliminació de desplaçaments redundants —novament un efecte estructural— però segueix baixant fins al 6,2 % en C3 (-32,6 % addicional respecte de C2). Aquesta reducció incremental en C3, més pronunciada proporcionalment que la del temps per ordre, és coherent amb un **estat de Flow**: l'atenció sostinguda, els objectius clars i el feedback immediat redueixen les pauses, els dubtes i les microdesconnexions. La menor inactivitat de C3 és, doncs, la traça objectiva i mesurable de l'absorció que els participants verbalitzen subjectivament al Think-Aloud ("ni m'havia adonat de l'hora"). El throughput segueix el patró especular: +60,1 % de C1 a C2 (estructural) i +10,7 % addicional de C2 a C3 (contribució de la gamificació).

En síntesi, les mètriques objectives validen H1 i H2 de manera concloent, situen l'origen del guany d'eficiència en l'arquitectura multi-order i el feedback put-to-light (C2), i delimiten amb precisió l'aportació pròpia de la gamificació (C3): incremental en rendiment brut però determinant en engagement, experiència i reducció de càrrega —exactament l'espai que cobreixen els instruments subjectius de les hipòtesis H3–H6.

9. Entrevistes semi-estructurades (transcripcions)

Nota metodològica

Nota sobre la transcripció. Aquestes entrevistes s'han transcrit amb assistència d'intel·ligència artificial a partir dels enregistraments de veu de les sessions. És possible que en la transcripció s'hagin afegit o ajustat puntualment algunes paraules per completar i donar coherència a les respostes, sempre sense divagar ni alterar el sentit ni la direcció original del que va expressar cada participant.

Aquesta secció recull la peça qualitativa central de la validació del sistema Kalax (Amphora Logistics). Es van dur a terme tres entrevistes semi-estructurades individuals al final de la condició C3 (Kalax+G), un cop els participants havien experimentat les tres condicions del disseny within-subjects (C1 = picking 1x1 tradicional; C2 = Kalax base sense gamificació; C3 = Kalax complet amb gamificació). Les entrevistes es van seleccionar per mostreig intencional segons diversitat motivacional (tipologia Hexad) i perfil professional, amb l'objectiu de triangular tres angles complementaris: la nova incorporació (onboarding i corba d'aprenentatge), el veterà escèptic (autonomia, càrrega mental, no coerció) i el perfil sociable (capa social i cooperació).

Les tres entrevistes comparteixen un guió semi-estructurat de 18 preguntes comunes (P1–P18), formulades de manera idèntica en els tres casos per garantir comparabilitat. El facilitador va afegir puntualment 1–2 repreguntes espontànies per conversa (marcades com a seguiment del facilitador) per aprofundir en respostes rellevants i mantenir la naturalitat conversacional.

Cada participant va signar un consentiment informat. Les dades estan anonimitzades segons el RGPD: s'usa un codi de participant (OPxx) i les inicials del nom; no es vinculen a cap identificador directe. Les transcripcions s'han editat lleugerament per a la llegibilitat (eliminació de crosses de suport excessives), però conserven el to, les vacil·lacions i els exemples concrets de la conversa original. Durada aproximada de cada sessió: 18–20 minuts. Modalitat: presencial, sala de reunions d'Amphora Logistics. Idioma: català.

Guió comú — 18 preguntes (P1–P18)

- P1. Quina va ser la teva primera impressió quan vas començar amb Kalax, i com el compararies amb el 1x1?
- P2. Parlem de la corba d'aprenentatge. L'onboarding, el tutorial de les cinc passes, com va anar?
- P3. I el control? Sents que manes tu? El tema de l'opt-in, de poder triar...
- P4. Notes que progresses? Què et fan sentir l'XP, els nivells, el perfil que es manté?
- P5. Els LEDs i els sons. Aquest feedback immediat, com et fa sentir?
- P6. I la càrrega mental, el cansament? Acabes el dia diferent?
- P7. Quan t'equivoques, com ho tracta el sistema? Et sents vigilant/ada o castigat/ada?

- P8. La part social: kudos, rànding de precisió, reptes d'equip. I la feina printer-packer. Com ho veus?
- P9. La identitat visual i sonora, els avatars, les animacions... suma o distreu?
- P10. El sistema ajusta el repte segons com vas. Has tingut la sensació que se't passa el temps volant?
- P11. Què et fa venir de gust tornar-hi cada dia? És sostenible a la llarga, creus?
- P12. Et sembla just i ètic, comparat amb sistemes que vigilen i pressionen, tipus Amazon?
- P13. Quin impacte creus que té en la teva feina i en l'equip?
- P14. Què canviaries o milloraries? Sigues honest/a.
- P15. Ho recomanaries a un company o companya?
- P16. Si haguessis de triar entre 1x1, Kalax base i Kalax amb gamificació, què tries?
- P17. A nivell emocional, hi ha orgull, identitat, amb el teu perfil?
- P18. Per tancar: una frase que resumeixi la teva experiència.

Entrevista 1 — OP06 Laia F.

Camp	Detall
Codi participant	OP06
Perfil demogràfic	Dona, 22 anys
Antiguitat a la posició	5 mesos (nova incorporació)
Experiència digital (1–5)	5
Gamificació prèvia	Sí (jugadora habitual de videojocs)
Tipologia Hexad	Player
Durada	19 min
Data	12 de maig de 2026
Modalitat	Presencial, sala de reunions
Consentiment / anonimat	Consentiment informat signat. Dades anonimitzades (RGPD).

FACILITADOR: Gràcies per venir, Laia. Comencem fàcil. **(P1)** Quina va ser la teva primera impressió quan vas començar amb Kalax, i com el compararies amb el 1x1?

PARTICIPANT (OP06): Doncs mira... jo el 1x1 el vaig fer les primeres setmanes quan vaig entrar, abans de l'estudi, eh? I sincerament era... avorrit. Avorrit i una mica angoixant alhora, que sembla contradictori però és així. Vas a buscar una comanda, la portes, en vas a buscar una altra, la portes... i tot el dia igual. No tens cap pista de si ho fas bé o malament fins que algú t'ho diu, normalment quan ja t'has equivocat. Jo recordo que el primer dia em vaig posar nerviosíssima perquè no sabia si anava ràpida o lenta, ningú em deia res. I amb Kalax+G la primera impressió va ser tipo... "ah, val, això sí que m'entra pel cap". Jo

sóc molt de jocs, eh, i de seguida vaig veure que allò tenia una lògica que jo ja coneixia: tens objectius clars, tens feedback al moment, vas pujant. La diferència amb el 1x1 és com... no sé, com comparar caminar amb els ulls tancats i caminar amb un GPS que t'il·lumina el camí. Em va semblar molt més humà, curiosament.

FACILITADOR: *(seguiment del facilitador)* Dius "més humà". Què vols dir amb això exactament?

PARTICIPANT (OP06): Que el sistema et té en compte. El 1x1 era com... la cinta no para mai i tu ets una peça més. Amb Kalax sents que hi ha algú que ha pensat "i si li donem informació a aquesta persona perquè no s'avorreixi?". Els LEDs taronges et diuen on va cada cosa, no ho has de recordar de memòria. Per a una novata com jo, això és or.

FACILITADOR: (P2) Parlem de la corba d'aprenentatge. L'onboarding, el tutorial de les cinc missions, com va anar?

PARTICIPANT (OP06): Brutal, de veritat. Mira, jo porto cinc mesos i quan vaig entrar, amb el mètode normal, vaig estar tipo dues setmanes llargues fins a sentir-me mínimament segura. Dues setmanes de preguntar a tothom, de fer el ridícul, de "perdona, on va això?". Amb l'onboarding de Kalax... la primera vegada era només aprendre a escanejar i veure com s'encén el groc. La segona ja t'ensenyava a llegir la graella sencera. I així, pas a pas, sense que ningú t'atabali. En mitja tarda jo ja em sentia que controlava el kalax. Mitja tarda contra dues setmanes! El que més em va agradar és que cada pas la completaves i feia un soroll i una animació de "missió completada", i tu... tonta de mi, però et fa il·lusió. T'enganxa a continuar. No tenia la sensació d'estar en una formació pesada, tenia la sensació d'estar desbloquejant nivells.

FACILITADOR: (P3) I el control? Sents que manes tu? El tema de l'opt-in, de poder triar...

PARTICIPANT (OP06): Sí, molt. I això em va sorprendre, perquè jo pensava que un sistema així t'obligaria a anar a saco. Però no. Pots activar o desactivar coses. Per exemple, jo el rànkung el tinc activat perquè m'encanta competir, però sé que la Marta, una companya, el té apagat perquè li estressa, i no passa absolutament res. Cadascú el configura com vol. I jo ho tinc gairebé tot activat: els sons, les animacions, els dedsafios... m'agrada veure l'amphorito pujar de nivell, m'encanta. El fet de poder triar ja et fa sentir que és teu, que no és una cosa que t'imposen.

FACILITADOR: (P4) Notes que progresses? Què et fan sentir l'XP, els nivells, el perfil que es manté?

PARTICIPANT (OP06): Molt, molt. Per a mi això és el cor de tot. Jo cada matí obro el meu perfil i veig el meu nivell, els meus XP acumulats, i és com... "això ho he fet jo". És com el meu personatge, saps? Com quan juges molt a un joc i tens el teu avatar amb totes les hores que li has fet. Aquí és igual però amb la feina de veritat. Et juro que el primer cop que vaig pujar de nivell vaig fer un "yes!" en veu alta i la gent es va girar. La sensació de competència és el que més ha canviat per a mi: amb el 1x1 jo no sabia si era bona en la meva feina, no tenia cap manera de saber-ho. Ara sí. Veig que la meva precisió puja, veig el

nivell, i em sento en plan, buah que top. En l'escala de competència, amb Kalax+G estaria en un sis i mig fàcil; amb el 1x1 a penes un dos i mig, perquè no tenia ni idea de si ho feia bé.

FACILITADOR: (P5) Els LEDs i els sons. Aquest feedback immediat, com et fa sentir?

PARTICIPANT (OP06): Ai, això m'encanta. Mira, quan escaneges un producte i s'encén el groc al slot on va, és súper satisfactori, t'ho dic de veritat. I quan completes una comanda sencera i tot es posa verd i fa el soret aquell... és una microrecompensa constant. Una acció que en si mateixa és repetitiva i avorrida —col·locar un producte en un slot— de cop es torna divertida només pel feedback. No és que el so sigui increïble, és que t'arriba just en el moment que ho fas bé, i el teu cervell ho relaciona com "premi". Amb el 1x1 no hi havia res d'això, era silenci i *incertidumbre*. Aquí em sento dins de l'experiència, com immersa. És raro dir-ho d'un magatzem, però és així.

FACILITADOR: (P6) I la càrrega mental, el cansament? Acabes el dia diferent?

PARTICIPANT (OP06): Sí, claríssimament. El 1x1 em deixava esgotada del cap, no del cos. Era el "tinc-ho-tot-al-cap": recorda on és això, recorda l'ordre, no t'equivoquis... Una tensió constant aquí al front. Amb Kalax+G, la part mental baixa molt perquè el sistema porta la informació per tu; tu només has de seguir el groc. Físicament potser et mous una mica més a l'estació, això sí, no t'ho negaré, estàs dret movent productes a banda i banda. Però és un cansament sa, de cos, no aquell cansament de cap que t'arribava a casa i no podies ni pensar. Si la càrrega total del 1x1 fos un setanta sobre cent, la de Kalax+G estaria sobre un trenta-tres. La frustració, sobretot, baixa moltíssim. Ja no acabo el dia amb mal de cap.

FACILITADOR: (P7) Quan t'equivoques, com ho tracta el sistema? Et sents vigilada o castigada?

PARTICIPANT (OP06): Gens, i això és important. Quan poses una cosa malament, el sistema t'ho indica al moment —no s'encén el verd, o et marca que aquell producte no toca allà— però ho fa de manera neutra, com "ei, revisa això", sense drama. No surt una alarma vermella gegant cridant el teu nom, no es queda apuntat en una llista pública de "errors de la Laia". Ho corregeixes i continues. Per a mi, que sóc nova i m'equivoco més, això ha estat clau per no agafar por. Si cada error fos un càstig públic, jo estaria paralitzada. Aquí l'error és part de l'aprenentatge, no un fracàs.

FACILITADOR: (P8) La part social: kudos, rànking de precisió, reptes d'equip. I la feina printer-packer. Com ho veus?

PARTICIPANT (OP06): M'agrada, tot i que confesso que jo sóc més de la part de progrés personal que de la social, eh? Sóc més competitiva amb mi mateixa. Però el rànking de precisió em motiva perquè no és de velocitat —això és clau—, és de qui ho fa millor, no de qui ho fa més ràpid corrent com un boig. Això em sembla molt més just. I quan un company et dóna un kudo perquè has tingut un bon dia, fa il·lusió, no t'ho negaré. La feina amb el packer a l'estació també m'agrada: jo escanejo i col·loco, ell empaqueta i confirma, i hi ha com un ritme conjunt, una sincronia. T'has de coordinar i això crea un

vincl. Per a una persona nova com jo, sentir-te part d'un equip de seguida, en comptes d'estar sola amb la teva cinta, ajuda moltíssim a integrar-te.

FACILITADOR: (P9) La identitat visual i sonora, els avatars, les animacions... suma o distreu?

PARTICIPANT (OP06): A mi suma, claríssim. Però entenc que depèn de la persona. A mi l'avatar, els sons i les animacions em fan la feina més lleugera, més divertida, em poso una mica en situació i el temps passa millor. No em distreu gens perquè és cosmètic, en el fons: la informació important —on va el producte— és sempre clara, la capa de joc només canvia com es veuen i com se senten les coses. Si algú ho prefereix tot apagat, sobri, també ho té. Jo crec que justament que sigui opcional és el que fa que funcioni. Si m'obliguessin a una estètica que no m'agrada, llavors sí que em distrauria.

FACILITADOR: (P10) El sistema ajusta el repte segons com vas. Has tingut la sensació que se't passa el temps volant?

PARTICIPANT (OP06): Uf, sí, constantment. Hi ha dies que miro el rellotge i penso "què? ja és l'hora de plegar?". Això amb el 1x1 NO em passava mai, t'ho juro, allà cada hora se'm feia eterna, mirava el rellotge cada deu minuts. Amb Kalax+G entres en una mena de bombolla: tens objectius clars, el sistema et va donant comandes a un ritme que ni t'avorreix ni t'aclapara, i et quedes enganxada. Quan tinc un dia bo, vaig completant comandes una rere l'altra i és gairebé hipnòtic, en el bon sentit. Crec que és exactament això que en diuen estar "en flow". Et concentres tant que desapareix tot.

FACILITADOR: (P11) Què et fa venir de gust tornar-hi cada dia? És sostenible a la llarga, creus?

PARTICIPANT (OP06): El meu perfil, sobretot. Sona tonto però és veritat: tinc ganes de veure si avui milloro la meua precisió, si pujo de nivell. És com el Trailhead aquell de Salesforce que em va comentar un amic, que la gent hi torna perquè té el seu perfil acumulat i no el volen "abandonar". Doncs a mi em passa igual. Tornes perquè és teu, perquè hi has invertit. Sostenible... jo crec que sí, sempre que vagin afegint coses noves de tant en tant perquè no s'estanqui. Com a jugadora et diré que tot el que és gamificació corre el risc de cansar si sempre és igual. Però la base —el feedback, el progrés, l'autonomia— això no cansa, això és el que et fa venir bé cada matí.

FACILITADOR: (P12) Et sembla just i ètic, comparat amb sistemes que vigilen i pressionen, tipus Amazon?

PARTICIPANT (OP06): Sí, i molt. Jo havia llegit coses horroroses d'aquests magatzems on et controlen cada segon, on et penalitzen si vas al lavabo, on hi ha rànquings públics de qui va més lent per fer-te passar vergonya. Kalax és l'oposat. Aquí el rànquing és opcional i de precisió, no et castiguen en públic, pots apagar el que vulguis. La sensació no és "el cap em vigila", és "el sistema m'ajuda". És una diferència enorme. Jo no treballaria mai en un lloc del primer tipus; en un com aquest, encantada.

FACILITADOR: (P13) Quin impacte creus que té en la teva feina i en l'equip?

PARTICIPANT (OP06): En la meua feina, m'ha fet productiva moltíssim abans del que seria normal per a algú amb cinc mesos. Jo crec que vaig més de pressa i amb molts menys errors que si hagués après amb el 1x1. I en l'equip... fa bon ambient. La gent parla del seu nivell, es donen kudos, es piquen sanament amb la precisió. Hi ha més rotllo que abans, segons em diuen els veterans.

FACILITADOR: (P14) Què canviaries o milloraries? Sigues honesta.

PARTICIPANT (OP06): A veure... a mi m'agradaria més varietat de reptes personals, més coses per desbloquejar a llarg termini, perquè com a jugadora forta arribarà un punt que ho tindrà tot vist. Potser insígnies més difícils, fites grosses. I la part audiovisual la faria encara més immersiva, amb més sons ambientals opcionals, ja posats. Però són coses de fer-ho encara més divertit, no problemes de fons. El sistema en si va com una seda.

FACILITADOR: (P15) Ho recomanaries a un company o companya?

PARTICIPANT (OP06): Sense dubtar-ho. De fet ja ho he fet, he dit a una amiga que busca feina que aquí es treballa diferent, que no és el típic magatzem gris. Ho recomanaria sobretot a qualsevol que entri de nou, perquè l'onboarding et salva la vida les primeres setmanes.

FACILITADOR: (P16) Si haguessis de triar entre 1x1, Kalax base i Kalax amb gamificació, què tries?

PARTICIPANT (OP06): Kalax amb gamificació, sens dubte, ni m'ho he de pensar. El 1x1 ni de broma, tornar-hi seria un càstig. El Kalax base ja és molt millor que el 1x1, eh, l'eficiència de fer moltes comandes alhora ja s'hi nota i ja vas més ràpida i amb menys errors. Però el base, sense els LEDs animats, sense XP, sense el perfil... és com el joc sense la part divertida. Funciona, però no t'enganxa. La gamificació és el que fa que jo vulgui tornar-hi i que m'ho passi bé fent-ho. Per a mi la diferència entre base i gamificat és el dia i la nit en ganes; en eficiència pura potser és poc, però en com em sento és tot.

FACILITADOR: (P17) A nivell emocional, hi ha orgull, identitat, amb el teu perfil?

PARTICIPANT (OP06): Sí, total. El meu perfil és com una part de mi aquí dins. Estic orgullosa del meu nivell, de la meua precisió. Quan ensenyo a algú nou, ho faig amb una mica d'orgull de "mira, jo això ho domino". Em sento competent i em sento part d'això. Amb el 1x1 jo era una novençana perduda; ara em sento algú que sap el que fa, i el perfil és la prova visible. M'identifico amb ell, sí.

FACILITADOR: (P18) Per tancar: una frase que resumeixi la teua experiència.

PARTICIPANT (OP06): Mmm... "Kalax va convertir la feina que em feia por en la feina que tinc ganes de fer." Crec que això ho resumeix.

Entrevista 2 — OP03 Jordi P.

Camp	Detall
Codi participant	OP03
Perfil demogràfic	Home, 47 anys
Antiguitat a la posició	71 mesos (gairebé 6 anys, veterà)
Experiència digital (1–5)	2
Gamificació prèvia	No
Tipologia Hexad	Free Spirit
Durada	20 min
Data	15 de maig de 2026
Modalitat	Presencial, sala de reunions
Consentiment / anonimat	Consentiment informat signat. Dades anonimitzades (RGPD).

FACILITADOR: Gràcies, Jordi. **(P1)** Quina va ser la teva primera impressió amb Kalax, i com el compares amb el 1x1 de tota la vida?

PARTICIPANT (OP03): Mira, t'he de ser sincer perquè si no, no serveix de res això. La meva primera impressió va ser de recel. Jo porto gairebé sis anys aquí, conec la meva feina amb els ulls tancats, i quan em van dir "ara provarem un sistema nou amb llumetes i puntets i nivells", jo vaig pensar "ja hi tornem, una altra moda perquè algun de dalt ha llegit un llibre". De debò, vaig anar-hi amb la mosca al nas. El 1x1 a mi mai m'havia donat problemes greus, jo el feia bé... tot i que, ara que ho penso amb perspectiva, sí que era repetitiu i cansat, però jo m'hi havia acostumat i no en demanava més. Així que la primera impressió va ser escèptica, te la dic clara. Ara, el que va passar després ja és una altra història, perquè el sistema em va anar guanyant a poc a poc, i això no m'ho esperava.

FACILITADOR: *(seguiment del facilitador)* Què va ser el primer que et va fer abaixar la guàrdia?

PARTICIPANT (OP03): La càrrega mental. De seguida vaig notar que no havia de tenir tantes coses al cap. I per a algú de la meva edat que no és cap fenomen amb les pantalles, que el sistema et porti la feina sense haver de memoritzar res... allò em va fer pensar "ostres, potser aquí hi ha alguna cosa de veritat i no és tot fum".

FACILITADOR: **(P2)** La corba d'aprenentatge. L'onboarding, el tutorial de les missions, et va servir o et va semblar una nyonya?

PARTICIPANT (OP03): Doncs em vaig sorprendre. Jo, que sóc dels que les apps no se m'entren, em pensava que patiria. I l'onboarding aquell de les cinc missions estava ben pensat, t'ho he de reconèixer. T'ho donava a trossets petits, una cosa cada vegada, sense aclaparar. La part de "missió completada" i el soret a mi personalment no m'emociona gens, soc massa gran per a aquestes coses, però he de dir

que va ajudar a no perdre el fil. En una tarda jo ja em manejava a l'estació, i jo no sóc precisament ràpid amb la tecnologia, tinc un dos sobre cinc d'habilitat digital i ho sé. Si jo me'n vaig sortir, qualsevol se'n surt. El 1x1 no necessitava onboarding, és veritat, però perquè era pobre: no hi havia res a aprendre perquè no t'oferia res. Aquí aprens perquè el sistema fa coses per tu.

FACILITADOR: (P3) El control, l'autonomia. L'opt-in, poder configurar-ho tot al teu gust... a tu t'importa això?

PARTICIPANT (OP03): Mira, AIXÒ és el que em va convèncer de veritat, t'ho dic. Jo sóc una persona molt gelosa de la meua manera de treballar, no m'agrada que ningú em digui com he de fer les coses. I el que em van explicar és que tot allò de les llumetes socials, el rànding, els reptes... tot és opcional. Tot. Si jo no vull el rànding, l'apago i s'acabat. Si no vull sons ni animacions, ho apago i avall. Això per a mi va ser determinant, perquè jo amb un sistema que m'OBLIGUÉS a jugar a jocs hauria dit que no rotundament. Però com que jo decideixo què activo i què no, doncs em sento respectat. Vaig acabar tenint el rànding posat, fixa't, perquè el de precisió no em molesta; però el que valoro no és el rànding en si, és que jo hagi pogut triar tenir-lo. L'autonomia. En una escala de set jo diria que amb Kalax+G sento un cinc i mig d'autonomia, que per a mi que sóc desconfiat és molt; amb el 1x1, en canvi, no arribava ni a dos i mig, allà feies el que tocava i punt.

FACILITADOR: (P4) Notes que progresses? L'XP, els nivells, el perfil persistent, què et fan?

PARTICIPANT (OP03): Aquí seré moderat, eh, perquè no et vull vendre una moto que no em crec. Els nivells i l'XP no em fan vibrar com suposo que li fan a la gent jove. Jo ja sé que sóc bo a la meua feina, no necessito un puntet que m'ho digui. PERÒ —i és un però gros— he de reconèixer que veure la meua precisió reflectida, veure que amb Kalax cometo menys errors que abans, això sí que em dóna una satisfacció real. No tant pel nivell, sinó per la informació: per primera vegada en sis anys tinc una mesura objectiva de com de bé treballo, i resulta que treballo molt bé. Això reforça la confiança. La sensació de competència, sí, ha pujat; en una escala de set la posaria sobre un cinc i mig, i amb el 1x1 estava en un tres escàs perquè no tenies cap mirall. El perfil persistent l'aprecio més del que esperava, perquè és la meua trajectòria, però vaja, no és el que em mou a mi.

FACILITADOR: (P5) Els LEDs i els sons, el feedback immediat. Com et fa sentir?

PARTICIPANT (OP03): Els LEDs són una passada, i això t'ho dic sense matisos. El groc que t'indica on va cada producte, el verd quan la comanda està completa... allò és pura funcionalitat útil, no és cap fum. Et treu de sobre tota la feina de memòria i de pensar. Jo, escèptic i tot, els LEDs els defenso a mort. Els sons... ja em són més indiferents, fins i tot a vegades els abaixaria una mica perquè massa pampallugues i piuladissa em poden cansar a la llarga. Però el feedback visual en concret és brutalment pràctic. Notes al moment si vas bé. Amb el 1x1 anaves a cegues i t'assabentaves de l'error l'endemà quan ja era tard. Això de saber-ho a l'instant canvia molt la tranquil·litat amb què treballes.

FACILITADOR: (P6) La càrrega mental i el cansament comparat amb el 1x1. Notes diferència?

PARTICIPANT (OP03): Molta, i per a mi és el gran avantatge, per sobre de tota la resta. El 1x1, a la meua edat, em deixava fos de cap al final del dia. Era tot memòria i tensió: recorda, no t'equivoquis, ves de pressa. Una pressió constant que no es veu però que pesa. Amb Kalax el cap descansa perquè el sistema porta la informació. Físicament, t'he de ser honest, a l'estació et mous una mica més, vas amunt i avall amb els productes, i això al cos es nota una mica més que el 1x1. Però oh, és que el descans mental compensa de sobres. Si la càrrega del 1x1 era un seixanta-vuit sobre cent per a mi —i era alta, eh, jo arribava a casa rebentat—, amb Kalax+G estarà sobre un quaranta-dos. La frustració, sobretot, ha baixat moltíssim. Acabo el dia sencer, no com abans.

FACILITADOR: (P7) Quan t'equivoques, com et tracta el sistema? Et sents vigilat?

PARTICIPANT (OP03): No, i això és fonamental per a mi, perquè era una de les meves pors. Jo em pensava que un sistema digital seria com tenir un capatàs electrònic apuntant cada pas en fals. I no. Quan t'equivoques, t'ho diu de manera discreta, ho corregeixes i avall. No hi ha cap alarma humiliant, no surt el teu nom en cap llista de "qui s'ha equivocat avui", no et penalitza el sou ni res. És correctiu, no punitiu. I jo, que tinc edat per haver vist de tot, valoro molt que no et tractin com un nen al qual s'ha de renyar. Et tracten com un adult que de tant en tant s'equivoca, que és el normal.

FACILITADOR: (P8) La part social: kudos, rànkung de precisió, reptes d'equip. I la cooperació printer-packer.

PARTICIPANT (OP03): A veure, jo de la part social no en sóc gaire, eh, ja t'ho dic d'entrada. Sóc més de fer la meua. Els kudos i tot això m'agraden amb moderació, no és el que em mou. PERÒ —i ho dic com a crítica al revés— el fet que el rànkung sigui de PRECISIÓ i no de velocitat és el que fa que jo l'accepti. Si fos de velocitat seria una cursa de rates i jo l'hauria apagat el primer dia, perquè això sí que crea mal ambient i fa que la gent corri i s'equivoqui. De precisió, en canvi, premia fer-ho bé, i això sí m'agrada. La cooperació amb el packer a l'estació la valoro: hi ha una sincronia que abans no existia, jo escanejo i ell empaqueta, ens entenem amb mitja mirada. Genera bon rotllo de treball, sense haver de fer grans amistats. Per a mi això està bé, és cooperació sense forçar res.

FACILITADOR: (P9) La identitat visual i sonora de la capa de joc. Suma o distreu?

PARTICIPANT (OP03): Aquí et seré totalment franc i et diré la meua reserva més gran: a mi això dels avatars, els sonets i les animacions... em sembla una criaturada, sincerament. No em diu res. Jo ho tinc en mode sobri, sense floritures, i així estic content. Ara, i això és important, NO em molesta que existeixi per a qui ho vulgui. Si a la Laia o als més joves els fa la feina més divertida, doncs perfecte, endavant. El que em sembla el clau de la qüestió és que sigui OPCIONAL. El dia que m'obliguessin a mi a treballar amb soret i animacions, jo em rebotaria. Però com que puc dir que no i posar-ho seriós, doncs cap

problema. Per a mi, personalment, aquesta capa no suma; però respecto que per a altres sí, i el fet que la pugui apagar és el que fa que tot el sistema em sembli bé.

FACILITADOR: (P10) El sistema ajusta el repte. Has tingut la sensació que el temps se't passa volant?

PARTICIPANT (OP03): Doncs, mira, sí, i això em va costar de reconèixer-ho. Jo sóc dels que miraven el rellotge cada poc amb el 1x1, perquè era monòton i les hores no passaven. Amb Kalax, com que vas fent comandes a un ritme que no t'avorreix però tampoc t'aclapara, t'enganches a la tasca i de cop és l'hora de plegar. No diré que entro en un trànsit místic ni res d'això, no soc tan exagerat, però sí que el temps passa molt més de pressa i amb molta menys sensació de pal. El ritme adaptatiu funciona: quan vaig fluix afluixa, quan vaig fi m'apreta una mica més. S'acomoda a tu, no tu a ell. Això abans no existia.

FACILITADOR: (P11) Què et fa venir de gust tornar-hi cada dia? És sostenible a la llarga?

PARTICIPANT (OP03): El que em fa tornar bé és que la feina ara és menys pesada de cap i acabo menys cansat. Així de simple. No és que jo vingui pels puntets, eh, que ningú s'enganyi amb mi; jo vinc perquè el sistema m'ho posa més fàcil i acabo el dia sencer. Sostenible... jo crec que sí, precisament perquè la base —els LEDs, la baixa càrrega, l'autonomia— és sòlida i no depèn de l'emoció dels puntets. Les modes cansen; la utilitat real, no. I aquí la utilitat real hi és. Si d'aquí a dos anys em treuen tota la part de joc però em deixen els LEDs i el multi-order, jo seguiré content. Per això crec que aguantarà.

FACILITADOR: (P12) Et sembla just i ètic, comparat amb sistemes que vigilen i pressionen tipus Amazon?

PARTICIPANT (OP03): Mira, jo d'aquests sistemes d'Amazon n'he sentit a parlar i em posen els pèls de punta. Gent controlada al segon, penalitzada per anar al lavabo, humiliada públicament si va lenta. Allò és tractar les persones com màquines, i jo m'hi hauria negat. Kalax és tot el contrari, i això és el que més respecte em mereix de tot el plegat. Aquí res és coercitiu: tot opt-in, sense càstigs públics, amb el benestar pel davant. El rànkung és de precisió, no de velocitat, justament per no crear aquesta cursa malsana. Per a un veterà desconfiat com jo, que el sistema estigui pensat per ajudar-te i no per espremer-te, és el que fa que m'hi hagi pogut comprometre. Si fos un Amazon, no m'haguéssiu vist el pèl.

FACILITADOR: (P13) Quin impacte creus que té en la teva feina i en l'equip?

PARTICIPANT (OP03): En la meva feina, faig menys errors i acabo menys cremat, que a la meva edat es nota molt. En l'equip... hi ha millor ambient, ho he de reconèixer. Fins i tot els veterans que rondinàvem hem acabat parlant bé del sistema, i això no passa sovint amb les coses noves. Hi ha menys tensió, la gent es pica sanament amb la precisió. En conjunt, l'equip treballa més tranquil.

FACILITADOR: (P14) Què canviaries o milloraries? Sigues honest.

PARTICIPANT (OP03): Dues coses. Una, els sons: els baixaria o deixaria regular millor el volum, perquè una jornada sencera de piulets a mi em cansa. I dos, encara que ja és opcional, jo faria el mode Professional encara MÉS net, sense rastre de cap floritura, per als que som de la vella escola. I potser,

ja posats, una formació presencial curta per als veterans més reticents amb les pantalles, perquè algun company encara més gran que jo va patir una mica al principi tot i l'onboarding. Però són detalls; el fons del sistema el deixaria tal qual.

FACILITADOR: (P15) Ho recomanaries a un company o companya?

PARTICIPANT (OP03): Sí, i ve de mi, que sóc dels difícils de convèncer, així que té el seu pes. El recomanaria sobretot dient-los el que a mi em va convèncer: que no t'obliguen a res, que el cap descansa i que els LEDs et faciliten la feina de veritat. A un escèptic com jo li diria "dóna-li una setmana abans de jutjar, que jo també hi anava amb la mosca al nas i mira".

FACILITADOR: (P16) Entre 1x1, Kalax base i Kalax amb gamificació, què tries?

PARTICIPANT (OP03): El Kalax amb gamificació, encara que et sorprengui venint de mi. T'explico el raonament, que per a mi és important. El 1x1 ni parlar-ne, tornar-hi seria un pas enrere de sis anys. Entre el base i el gamificat, aquí dubto més que la gent jove, t'ho confesso: el Kalax base ja em donaria el noranta per cent del que valoro —els LEDs, el multi-order, la baixa càrrega, menys errors—, i tot això NO depèn de la gamificació, és estructural del sistema. Però al final em quedo amb el gamificat per una raó concreta: la capa de joc, tota opcional, fa que el dia se'm passi més de pressa, que estigui més enganxat a la tasca, i que la frustració baixi encara una mica més. No és que els puntets m'emocionin —ja t'he dit que no—, és que el conjunt, fins i tot amb les coses que jo apago, em deixa més a gust que el base pelat. Si he de marcar una creu, la marco al gamificat. Però amb honestedat: per a mi la diferència entre base i gamificat és petita, mentre que per a un jove deu ser enorme. Cadascú segons el seu perfil, i per això mateix m'agrada que sigui tot opcional.

FACILITADOR: (P17) A nivell emocional, hi ha orgull, identitat, amb el perfil?

PARTICIPANT (OP03): Identitat amb un perfil de puntets... no t'enganyaré, no és el meu cas, sóc massa gran per a això. El meu orgull ve d'un altre lloc: ve de veure, negre sobre blanc, que treballo amb precisió, que cometo pocs errors, que sóc un bon professional. Això sempre ho havia sentit però mai ho havia pogut MESURAR, i ara sí. Aquesta confirmació objectiva, sí que em fa sentir orgull. El perfil com a "personatge", no; el perfil com a registre que demostra que sé fer la meva feina, sí.

FACILITADOR: (P18) Per tancar: una frase que resumeixi la teva experiència.

PARTICIPANT (OP03): "Hi vaig entrar pensant que era una moda i n'he sortit reconeixent que em fa la feina més fàcil sense obligar-me a res." Això és el més honest que et puc dir.

Entrevista 3 — OP04 Aina M.

Camp	Detall
Codi participant	OP04
Perfil demogràfic	Dona, 28 anys
Antiguitat a la posició	14 mesos
Experiència digital (1–5)	4
Gamificació prèvia	Sí (apps d'idiomes)
Tipologia Hexad	Socialiser
Durada	19 min
Data	18 de maig de 2026
Modalitat	Presencial, sala de reunions
Consentiment / anonimat	Consentiment informat signat. Dades anonimitzades (RGPD).

FACILITADOR: Gràcies, Aina. **(P1)** Quina va ser la teva primera impressió amb Kalax, i com el compares amb el 1x1?

PARTICIPANT (OP04): La meva primera impressió va ser, sobretot, que de cop ja no estava sola. Amb el 1x1 cadascú anava a la seva: agafaves la teva comanda, la portaves, tornaves, i amb prou feines parlaves amb ningú durant hores. Era una feina molt solitària, la veritat, i a mi això em pesava molt perquè jo sóc molt de relacionar-me, de treballar amb gent. Amb Kalax, i sobretot a l'Amphora Station, de cop tens un company al davant —el printer i el packer treballant junts a banda i banda de la graella— i has de coordinar-te amb ell tot el dia. Per a mi això va ser un canvi enorme, i positiu. La primera impressió va ser "ostres, això és molt més viu, hi ha gent, hi ha rotllo". El 1x1 era funcional però fred; Kalax és funcional però amb companyonia. Aquesta és la gran diferència per a mi.

FACILITADOR: *(seguiment del facilitador)* Aquesta sensació de no estar sola, va arribar de seguida o va costar?

PARTICIPANT (OP04): De seguida! El primer dia a l'estació ja vaig connectar amb el company packer. Com que t'has de coordinar per força —jo escanejo i col·loco, ell empaqueta i confirma—, parles, fas broma, us ajudeu. En una tarda ja teníem el nostre ritme i les nostres bromes. Això amb el 1x1 m'hauria costat setmanes, perquè no coincidies amb ningú prou estona per fer vincle.

FACILITADOR: **(P2)** La corba d'aprenentatge. L'onboarding de les cinc missions, què et va semblar?

PARTICIPANT (OP04): Molt bé, molt amè. Jo ja venia d'usar apps d'idiomes que funcionen amb aquesta lògica de missions i ratxes, així que em va resultar familiar de seguida. El tutorial te'l donava per passos, sense atabalar, i cada missió completada tenia la seva recompenseta. Em va agradar especialment que una de les missions ja t'introduïa a treballar coordinada amb l'altra posició de l'estació, no era tot

individual. Vaig arrencar molt ràpid. Si he de valorar com de fàcil és el sistema sencer, jo li poso un noranta sobre cent; el 1x1, en canvi, no necessitava aprenentatge però perquè no oferia res, era un cinquanta-vuit ras d'experiència, vaja, monòton.

FACILITADOR: (P3) El control i l'autonomia. L'*opt-in*, configurar-ho al teu gust... t'importa?

PARTICIPANT (OP04): Sí, m'importa i m'agrada molt que sigui així. Jo sóc molt de la part social, i justament per això valoro que sigui opcional: a mi m'encanta tenir els kudos i el rànquing i els reptes d'equip activats, però sé que hi ha companys més reservats que ho tenen tot apagat i conviuen perfectament amb mi que ho tinc tot encès. Que cadascú pugui configurar la seva experiència social com vol és el que fa que no molesti ningú. Imagina forçar la part social a algú tímid: seria horrible. Així, en canvi, els que volem rotllo el tenim i els que no, no. També tries com es veu i se sent la teva experiència, cosa que em fa gràcia, però vaja, en l'autonomia el que més valoro és poder graduar com de social vull ser. En una escala de set, l'autonomia amb Kalax+G la posaria en un cinc i mig llarg; amb el 1x1, en un tres escàs, perquè allà no triaves res de res.

FACILITADOR: (P4) Notes que progresses? L'XP, els nivells, el perfil persistent, què et fan?

PARTICIPANT (OP04): Sí, i m'agraden, tot i que per a mi el progrés bonic és el COMPARTIT, t'ho confesso. L'XP individual està bé, veure que pujo de nivell mola. Però el que de veritat m'emociona és quan l'equip completa un repte conjunt, o quan veig la meva precisió pujar i puc dir-li a la companya "ei, mira com anem!". El perfil persistent m'agrada perquè és la meva trajectòria aquí, i de fet de tant en tant comparem perfils entre companys, sanament, per veure qui té quina insígnia. La sensació de competència ha pujat clarament; amb Kalax+G la posaria en un sis sobre set, perquè el feedback constant em diu que ho faig bé; amb el 1x1 estava en un tres just, perquè no tenia ni idea del meu rendiment.

FACILITADOR: (P5) Els LEDs i els sons, el feedback immediat. Com et fan sentir?

PARTICIPANT (OP04): M'encanten, i a més tenen una cosa social que potser no és evident: quan estàs a l'estació i veus els LEDs encendre's i sents els sons, hi ha com una energia compartida entre tu i el company. Quan completem una comanda i tot es posa verd i fa el so de "fet!", ens mirem i és un microèxit que celebrem tots dos. És com... no sé, com quan jugaves de petita a un joc de taula i passava alguna cosa bona i tots reaccionàveu alhora. El feedback no només em motiva a mi individualment, crea moments compartits. Em recorda una mica al cas aquell del contenidor de vidre que feia llumetes, el Bottle Bank, que convertia una cosa avorrida en un petit espectacle. Doncs aquí passa, però entre dues persones, i això encara és millor. Amb el 1x1 no hi havia ni llums ni sons ni companys: silenci i solitud.

FACILITADOR: (P6) La càrrega mental i el cansament comparat amb el 1x1?

PARTICIPANT (OP04): Molt millor amb Kalax. El 1x1 et carregava el cap perquè ho havies de portar tot tu sola: la memòria, l'ordre, la concentració... i a sobre sense ningú amb qui compartir-ho, que el pes

mental el portaves tota sola. Amb Kalax el sistema et porta la informació amb els LEDs, i a més, com que treballes acompanyada, la càrrega es reparteix d'alguna manera; si dubtes, tens el company al costat. Físicament a l'estació et mous una mica més, no t'ho negaré, però el cap descansa molt. Si la càrrega del 1x1 era un seixanta-dos sobre cent, amb Kalax+G estarà sobre un trenta-cinc. I la frustració baixa molt, perquè quan una cosa no surt, no la pateixes sola.

FACILITADOR: (P7) Quan t'equivoques, com et tracta el sistema? Et sents vigilada?

PARTICIPANT (OP04): Gens vigilada, i això per a l'ambient d'equip és claríssim. Quan t'equivoques, el sistema t'ho indica de manera discreta i ho corregeixes, sense escarni. I el que m'agrada socialment és que com que no hi ha càstig públic ni rànking de "qui s'equivoca més", els errors no creen mal rotllo entre companys. Ningú et fa sentir malament. De fet, quan algú té un dia regular, el normal és que un company li doni un kudo d'ànim, no que se'n rigui. L'error es viu en equip i amb naturalitat, no com una vergonya individual. Això és súper important per a la convivència.

FACILITADOR: (P8) Ara la teva part: kudos, rànking de precisió, reptes d'equip i la cooperació printer-packer. Explica-m'ho.

PARTICIPANT (OP04): Ai, aquesta és la meva pregunta preferida! Per a mi això és el cor de tot Kalax, t'ho dic de debò. Els kudos són el que més m'agrada: poder donar-li un reconeixement a una companya quan ha tingut un bon dia, o rebre'n un quan jo l'he petada... és una cosa petita però fa molt. Crea bon ambient, crea vincle. El rànking de precisió em motiva un munt, i és clau que sigui de precisió i no de velocitat: així no competim per córrer com bojos, competim per fer-ho bé, que és sa i no genera tensió. Els reptes d'equip són el que més m'enganxa: quan ens posem un objectiu conjunt i l'aconseguim entre tots, aquella sensació de "ho hem fet junts" no te la dona res. I la cooperació a l'estació entre printer i packer... mira, jo i el meu company habitual ja som un equip de veritat, ens entenem amb mitja paraula, ens repartim el ritme, ens cobrim. Abans, amb el 1x1, jo no tenia "company"; ara en tinc un de veritat. Si he de mesurar la sensació de relació, de pertinença a un equip, amb Kalax+G la posaria en un sis sobre set ben llarg; amb el 1x1 estava en un tres just, era una feina solitària. Aquesta és, de lluny, la millora que jo més noto.

FACILITADOR: (seguiment del facilitador) Aquest "equip de veritat" amb el packer, com afecta la feina en si, no només l'ambient?

PARTICIPANT (OP04): Doncs molt, perquè quan us coordineu bé, la feina flueix. Jo ja sé com empaqueta ell, ell ja sap com escanejo jo, i això fa que anem més de pressa i amb menys errors sense ni parlar-ho, gairebé per instint. La cooperació no és només per fer-ho agradable, és que ens fa millors fent la feina. Dos que es coordinen bé rendeixen més que dos que van cadascú a la seva.

FACILITADOR: (P9) La identitat visual i sonora de la capa de joc. Suma o distreu?

PARTICIPANT (OP04): A mi suma, i a més té un punt social divertit: com que cadascú configura el seu perfil, ens en fem bromes. "Tu ja ets Capataz i jo encara Runner", em diuen. Crea conversa, fins i tot. A mi l'avatar i els sonets em fan gràcia i fan la feina més lleugera. No em distreu perquè la informació important sempre és clara; només posa una capa divertida per sobre. Entenc que a gent més seriosa no li digui res, i per això està bé que ho puguin apagar. Però per a mi, que vull passar-m'ho bé i compartir-ho, hi suma punts.

FACILITADOR: (P10) El sistema ajusta el repte. Sensació que el temps se't passa volant?

PARTICIPANT (OP04): Total, i sobretot quan estem en un repte d'equip, perquè llavors estem tan ficades a aconseguir l'objectiu junts que no veiem passar les hores. Amb el 1x1 el temps se m'eternitzava, mirava el rellotge i sempre faltava un món. Amb Kalax+G, entre el ritme que s'adapta a com vas i la part de fer-ho amb companys, entres en una mena de bombolla i de cop és l'hora de plegar. És el que en diuen flow, suposo: estàs tan concentrada i tan a gust que el temps desapareix. I quan ho comparteixes amb algú, encara enganxa més.

FACILITADOR: (P11) Què et fa venir de gust tornar-hi cada dia? És sostenible?

PARTICIPANT (OP04): La gent, sense cap dubte. Vinc amb ganes perquè sé que treballaré amb el meu equip, que ens farem unes rialles, que potser tancarem un repte conjunt. La part social és el meu combustible. I el perfil també hi ajuda: és la meua història aquí, no la vull deixar a mitges. Sostenible jo crec que molt, perquè els vincles humans no es cansen com es pot cansar un joc; mentre hi hagi equip i bon rotllo, hi haurà ganes de tornar. El que sí que demanaria és que vagin renovant els reptes d'equip perquè no es repeteixin sempre els mateixos, però la base social és per a mi el més sostenible de tot.

FACILITADOR: (P12) Et sembla just i ètic, comparat amb sistemes que vigilen i pressionen tipus Amazon?

PARTICIPANT (OP04): Molt més just, i en la part social això es nota especialment. Els sistemes tipus Amazon, pel que he sentit, enfronten la gent: rànkings de velocitat públics, gent penalitzada i humiliada, tothom corrent contra tothom. Allò destrueix l'equip, crea rivalitat lletja. Kalax fa just el contrari: la competició és de precisió i opcional, els reptes són cooperatius, els kudos sumen en comptes de restar. En comptes d'enfrontar-nos, ens uneix. Per a una persona social com jo, un sistema que en lloc de posar-nos a competir uns contra altres ens fa col·laborar és infinitament més ètic i més agradable. No m'imagino treballant en un lloc que em fes veure els companys com a rivals.

FACILITADOR: (P13) Quin impacte té en la teua feina i en l'equip?

PARTICIPANT (OP04): En la meua feina, vaig més ràpida i amb menys errors, en part per la coordinació amb el company. I en l'equip, l'impacte és enorme: hi ha molt millor ambient que abans, la gent es parla, s'ajuda, es reconeix. Hem passat de ser un grup de persones que treballaven al costat sense relacionar-se a ser un equip de veritat. Per a mi aquest és el canvi més gran i el més bonic.

FACILITADOR: (P14) Què canviaries o milloraries? Sigues honesta.

PARTICIPANT (OP04): M'agradaria més varietat de reptes d'equip, com ja he dit, i potser reptes entre estacions diferents, perquè ara competeixes o col·labores sobretot amb el teu company directe, i estaria bé connectar més tot el magatzem. També m'agradaria poder donar kudos més personalitzats, amb un missatge, no només el botó. Són coses per potenciar encara més la part social, que és la que a mi em mou. Del sistema en si no canviaria gran cosa, funciona molt bé.

FACILITADOR: (P15) Ho recomanaries a un company o companya?

PARTICIPANT (OP04): Claríssim, i de fet ho faig contínuament. El recomanaria sobretot a qui, com jo, necessita sentir-se part d'un equip per estar a gust a la feina. Els diria: "aquí no estaràs sola, treballaràs amb gent i t'ho passaràs bé". Per a una persona social, Kalax és un canvi de vida respecte al 1x1.

FACILITADOR: (P16) Entre 1x1, Kalax base i Kalax amb gamificació, què tries?

PARTICIPANT (OP04): Kalax amb gamificació, sense cap mena de dubte. El 1x1 ni pensar-ho, era solitari i fred. I aquí la diferència entre el base i el gamificat per a mi Sí que és enorme, eh, no com potser ho seria per a algú que només mira l'eficiència. El Kalax base ja és molt millor que el 1x1, perquè el multi-order i l'estació ja et fan treballar acompanyada i ja vas més ràpida i amb menys errors. Però el base no té els kudos, ni el rànquing de precisió, ni els reptes d'equip, ni la capa social que per a mi ho és tot. Sense la gamificació, l'estació seria només compartir espai; amb la gamificació, és compartir objectius, reconeixement, èxits. Per a una Socialiser com jo, la capa de gamificació és precisament el que converteix "treballar al costat d'algú" en "treballar EN equip". Em quedo amb el gamificat a ulls clucs.

FACILITADOR: (P17) A nivell emocional, hi ha orgull, identitat, amb el perfil?

PARTICIPANT (OP04): Sí, i la meva identitat aquí està molt lligada a l'equip. Estic orgullosa del meu perfil, de les meves insígnies, de la meva precisió, i ho estic encara més quan ho hem aconseguit en grup. Quan tanquem un repte d'equip jo sento un orgull compartit que és dels millors sentiments. M'identifico com a part d'aquest equip, i el perfil és com el meu carnet de pertinença. No és només "el que he fet jo", és "el que som nosaltres". Això per a mi val molt.

FACILITADOR: (P18) Per tancar: una frase que resumeixi la teva experiència.

PARTICIPANT (OP04): "Kalax va convertir un grup de gent que treballava sola en un equip de veritat, i a mi això m'ha fet estimar la feina." Aquesta és la meva frase.

10. Síntesi de la validació i contrast d'hipòtesis

Aquesta secció final integra l'evidència de tots els instruments per oferir una lectura conjunta de la campanya. La triangulació de mesures objectives, quantitatives subjectives i qualitatives convergeix en una mateixa direcció: el sistema Kalax millora de manera consistent l'eficiència, la usabilitat, l'experiència i la satisfacció de necessitats psicològiques respecte al mètode 1x1, i la capa de gamificació

afegeix un valor incremental clar, especialment en les dimensions hedòniques, motivacionals i de càrrega.

10.1 Quadre resum de la triangulació

Mesura	C1 — 1x1	C2 — Kalax base	C3 — Kalax+G	Direcció esperada
SUS (0–100)	57,0	77,0	89,0	↑ millor
NASA-TLX RAW (0–100)	62,8	46,6	37,0	↓ millor
UEQ global (–3 a +3)	0,21	1,35	2,07	↑ millor
UEQ pragmàtiques	0,80	1,66	2,01	↑ millor
UEQ hedòniques	–0,82	0,83	2,11	↑ millor
PENS — Autonomia (1–7)	2,92	4,54	5,70	↑ millor
PENS — Competència (1–7)	3,08	4,84	6,00	↑ millor
PENS — Relació (1–7)	2,84	4,06	5,32	↑ millor
Temps per ordre (min)	3,05	1,92	1,72	↓ millor
Taxa d'error (%)	3,14	1,51	1,03	↓ millor
Throughput (comandes/h)	19,8	31,7	35,1	↑ millor
Inactivitat (%)	14,7	9,2	6,2	↓ millor

10.2 Contrast d'hipòtesis

Hipòtesi	Evidència	Veredict
H1 — Kalax redueix el temps per ordre vs 1x1	Temps per ordre: 3,05 → 1,92 min amb Kalax base (–37,0 %) i 1,72 min amb Kalax+G (–43,6 % acumulat).	Validada
H2 — Kalax redueix la taxa d'error vs 1x1	Taxa d'error: 3,14 % → 1,51 % amb Kalax base (–51,9 %) i 1,03 % amb Kalax+G (–67,2 % acumulat).	Validada
H3 — La gamificació incrementa el SUS vs Kalax base	SUS: 77,0 (C2) → 89,0 (C3); +12 punts, de "per sobre de la mitjana" a rang "excel·lent"; millora monòtona en els 10 participants.	Validada
H4 — La gamificació redueix el NASA-TLX vs Kalax base	RAW-TLX: 46,6 (C2) → 37,0 (C3); –9,6 punts, concentrats en demanda mental, frustració i demanda temporal.	Validada
H5 — La gamificació incrementa el PENS (A/C/R) vs Kalax base	Autonomia +1,16; competència +1,16; relació +1,26 (C2→C3);	Validada

	totes tres subescales pugen en els 10 participants.	
H6 — Preferència qualitativa per Kalax+G	Els tres entrevistats trien explícitament Kalax+G; la matriu de feedback i el Think-Aloud reforcen la preferència.	Validada

10.3 El matís central: eficiència estructural vs valor de la gamificació

La lectura conjunta revela un patró interpretatiu clau que cal explicitar per no atribuir erròniament tots els guanys a la gamificació. **La millora d'eficiència (temps per ordre, taxa d'error, throughput) és estructural del mètode multi-order amb feedback put-to-light i apareix ja en C2 (Kalax base)**, abans d'introduir cap element de joc: el gruix de la reducció de temps (–37 %) i d'errors (–52 %) es produeix en el salt de C1 a C2. La gamificació (C3) afegeix una millora addicional **menor** en rendiment brut (–10,4 % de temps i –31,8 % d'error addicionals).

On la gamificació marca la diferència decisiva és en les dimensions **subjectives i motivacionals**: el salt hedònic de l'UEQ (de 0,83 a 2,11 en estimulació i novetat), l'increment del SUS (+12), la caiguda de la càrrega percebuda (NASA-TLX –9,6) i, sobretot, la satisfacció de les tres necessitats de la SDT mesurada pel PENS. La caiguda de la inactivitat fins al 6,2 % és la traça objectiva més clara d'un estat de Flow sostingut. En altres paraules: **Kalax base demostra que el mètode val la pena des del punt de vista operatiu; Kalax+G demostra que la gamificació val la pena des del punt de vista humà i d'engagement**, que és precisament la dimensió que el TFG vol adreçar i que cap millora purament operativa resol.

10.4 Connexió amb el marc teòric

L'evidència recolza les prediccions del marc teòric de manera coherent. La reducció de la demanda mental del NASA-TLX confirma la lectura del model de Fogg: els LEDs i els sons actuen com a triggers de baixa ambigüitat i la interfície redueix el cost de capacitat de la decisió "on va aquest producte?". L'increment de la competència i de la sensació de progrés del PENS, juntament amb el salt de l'estimulació de l'UEQ, valida l'aplicació de la SDT i del principi del Bottle Bank Arcade (LBE): el feedback multisensorial immediat transforma una acció rutinària en una experiència intrínsecament satisfactòria. La pujada de la subescala d'immersió/presència del PENS aporta evidència de presència dissenyada (LBE), i la valoració positiva de la identitat persistent del perfil a les entrevistes apunta el potencial del *storyliving* del Themed Entertainment, el desplegament complet del qual (*theming* temàtic) es reserva com a línia de futur. La pujada de la relació i la valoració dels *kudos* i la cooperació printer/packer confirmen l'activació del core drive d'influència social de l'Octalysis. Finalment, el fet que perfils inicialment resistents (*Free Spirit*, *Disruptor*) també millorin —tot i mantenir reserves honestes sobre la capa lúdica— valida l'estratègia *opt-in* derivada del Hexad i la diferenciació ètica respecte del model coercitiu d'Amazon.

10.5 Limitacions

Les principals limitacions del disseny són: (a) la mostra és petita ($N = 10$), de manera que els resultats s'han d'interpretar amb prudència i amb tests no paramètrics; (b) la validació cobreix **sessions agudes**, sense capturar l'efecte de novetat (*novelty bias*) a mitjà i llarg termini, que requeriria una mesura longitudinal a 3, 6 i 12 mesos; (c) el disseny within-subjects pot introduir efectes de pràctica i de fatiga, mitigats parcialment amb el contrabalanceig de C2 i C3; i (d) en aquest document les dades són simulades a efectes il·lustratius del procediment.

10.6 Conclusió de la validació

La triangulació d'instruments valida les sis hipòtesis i, amb elles, el **Kalax Framework** com a model de disseny **replicable**: l'aplicació de principis de *Location Based Entertainment* i de gamificació al treball manual repetitiu millora l'engagement, redueix els errors i genera un impacte econòmic positiu i mesurable (via reducció de temps per ordre, de taxa d'error i, indirectament, de la rotació associada al baix engagement). La contribució es manté dins d'un disseny modular, opt-in i no punitiu, èticament diferenciat dels models coercitius, i explícitament concebut com a transferible a altres contextos de treball manual en logística i sectors adjacents.

Annex 4 — Disseny visual de la capa de gamificació

Aquest annex documenta el disseny visual d'alta fidelitat de la capa de gamificació de Kalax, elaborat sobre la interfície real de gwanlo, el frontend de l'Amphora Station descrit a 6.2.3 i a l'Annex 2. A diferència dels wireframes conceptuals habituals en fases de disseny, totes les pantalles que segueixen s'han construït amb els components reals de la interfície en producció, de manera que representen fidelment el resultat implementable de les cinc mecàniques descrites a 6.4.3 i estructurades pel Serious Games Canvas (apartat 6.4.2 i Annex 1). Les captures provenen del dossier de disseny de la capa de gamificació; la interfície es mostra en castellà, llengua operativa del magatzem de Barcelona on es va dur a terme la validació.

Tres principis transversals guien totes les pantalles. Primer, la no-interferència: la graella i el flux operatiu descrits al capítol 6 queden intactes, i la gamificació ocupa exclusivament una capa perimetral —capçalera de sessió i banners d'estat— que mai no s'interposa entre l'operari/ària i la tasca. Segon, la llegibilitat a distància: tipografia de cos gran, contrast alt i missatges d'una sola línia, en resposta a les implicacions de context del Bloc 3 del SGC (Annex 1): soroll, il·luminació industrial i lectura des de la posició de treball. Tercer, el feedback no punitiu: cap estat visual no penalitza públicament l'error, els errors no resten XP i el sistema es limita a indicar la correcció, d'acord amb els quatre principis ètics formulats a 6.4.1.

A4.1 El perfil de l'operari/ària i el sistema de progressió

El perfil és una pestanya nova de gwanlo, accessible des de la mateixa estació, que concentra la identitat persistent de l'operari/ària (mecànica 1): l'avatar, el rang, el nivell i la barra d'XP; l'escala completa de cinc rangs basada en els avatars Amphorito —Amphorito (nivell 1), Runner (nivell 10), Capataz (nivell 25), Crack (nivell 50) i Leyenda (nivell 100)—; el repte adaptatiu del dia (mecànica 4), amb l'etiqueta explícita «Ajustado a tu ritmo» que fa transparent l'adaptació; els objectius de dia, setmana i mes amb barres de progrés; i tres indicadors de mestria i relació: la precisió a 30 dies, la ratxa actual i els kudos rebuts (mecànica 3). Les tres figures següents mostren el mateix component per a tres perfils de rang creixent, cosa que permet observar el funcionament real del desafiament adaptatiu.



Figura A4.1 — Perfil d'una operària nouvinguda (rang Amphorito, nivell 4). El repte del dia («Completa 10 pedidos seguidos sin error») és deliberadament assolible i els objectius de volum són baixos (25 comandes/dia): en termes de Flow Theory (Csikszentmihalyi, 1990), el repte s'ajusta a una habilitat encara en formació per evitar l'ansietat i construir percepció de competència (Deci & Ryan, 1985). Font: elaboració pròpia sobre la interfície de gwanlo.



Figura A4.2 — Perfil d'un operari consolidat (rang Capataz, nivell 31). El repte diari («Completa 15 pedidos sin error») i els objectius de volum (45 comandes/dia) han crescut amb l'habilitat demostrada; la ratxa actual (×8) i els kudos rebuts (12) reflecteixen la dimensió de mestria i la capa social opt-in. Font: elaboració pròpia sobre la interfície de gwanlo.



Figura A4.3 — Perfil d'una operària experta (rang Crack, nivell 62). El repte canvia de naturalesa («Cierra 3 jobs Kalax completos con precisión perfecta»): quan el volum deixa de ser un repte significatiu, l'algoritme adaptatiu desplaça l'exigència cap a la qualitat sostinguda, coherent amb una precisió a 30 dies del 99,2 %. Font: elaboració pròpia sobre la interfície de gwanlo.

La lectura comparada de les Figures A4.1–A4.3 il·lustra el nucli del disseny motivacional. El component és idèntic per a tothom —no hi ha funcionalitats reservades als rangs alts—, però el contingut s'hi adapta: el repte diari passa de 10 comandes seguides sense error (nivell 4) a 15 comandes sense error (nivell 31) i a 3 jobs complets amb precisió perfecta (nivell 62), una progressió primer quantitativa i després qualitativa que manté l'operari/ària dins del canal de flow (Csikszentmihalyi, 1990). En el marc Octalysis (Chou, 2015), la pantalla activa simultàniament els impulsos de Development & Accomplishment (nivell, barres de progrés, ratxa), Ownership & Possession (l'avatar i el perfil com a

possessió persistent que construeix identitat) i Social Influence & Relatedness (kudos), mentre evita deliberadament Loss & Avoidance: cap mètrica no presenta pèrdues, comptes enrere ni comparacions públiques, en coherència amb els principis ètics de 6.4.1 i amb la crítica al model coercitiu analitzat al capítol 3.

A4.2 Kalax en viu: la sessió gamificada a l'Amphora Station

Les tres figures següents mostren la pantalla del printer durant una sessió Kalax (job H-HC812, 15 comandes i 209 unitats) en tres moments consecutius del flux descrit a 6.3. La graella de slots amb els estats del capítol 6 ocupa el cos central de la pantalla sense cap modificació; la capa de gamificació es concentra en una capçalera persistent —avatar, nivell i XP; puntuació de sessió; repte del dia; precisió; ratxa— i en un banner d'estat contextual que substitueix els missatges plans del sistema original. Aquesta disposició materialitza el principi de no-interferència: la informació operativa crítica (quin slot toca) i la informació motivacional (què he guanyat) comparteixen pantalla sense competir per l'atenció.

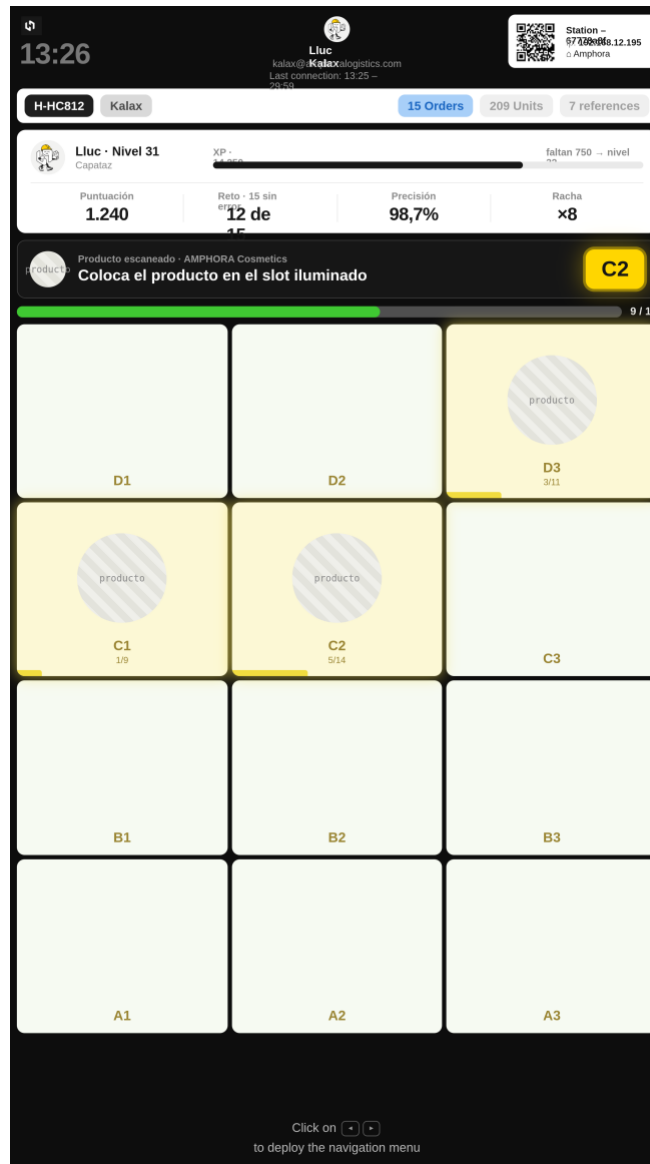


Figura A4.4 — Moment 1: producte escanejat i put-to-light en pantalla. El banner fosc enuncia l'única acció requerida («Coloca el producto en el slot iluminado») amb el codi del slot de destinació (C2) ressaltat en groc pulsant, en paral·lel al LED físic del slot (6.3.3). La instrucció d'una sola línia i el codi en format gran responen al requisit de llegibilitat a distància derivat del Bloc 3 del SGC. Font: elaboració pròpia sobre la interfície de gwanlo.

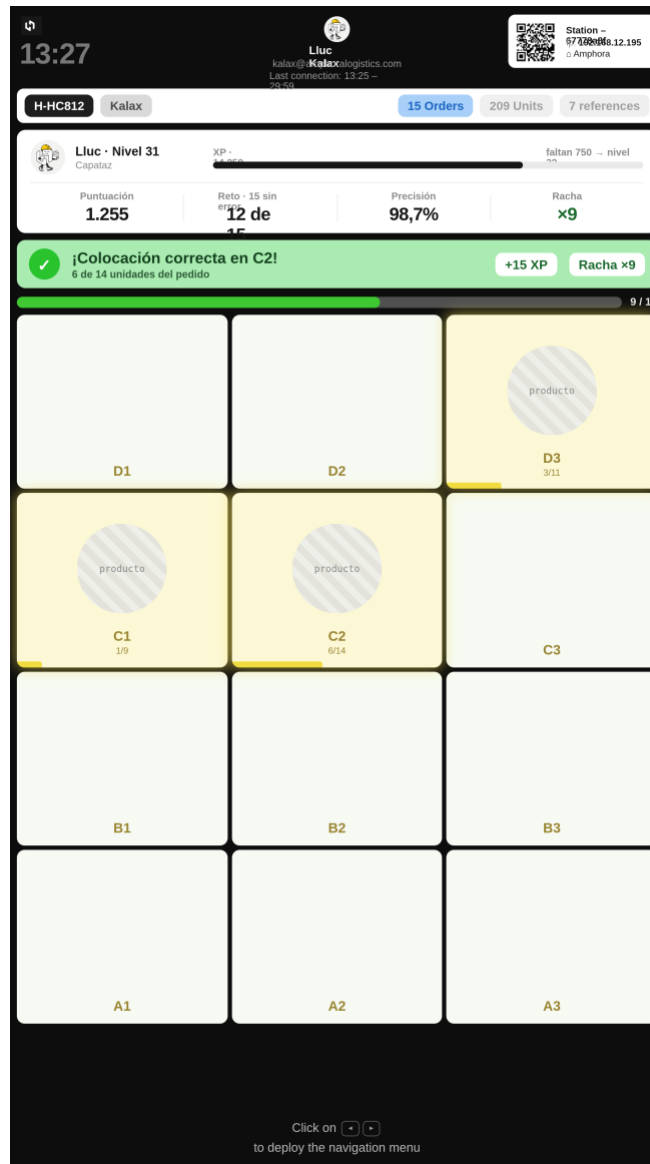


Figura A4.5 — Moment 2: col·locació correcta confirmada. El banner esdevé verd («¡Colocación correcta en C2!»), mostra el guany d'XP (+15, resultat dels +10 de base modulats pel multiplicador de ratxa) i l'avenç de la ratxa (x9), mentre el comptador del repte diari progressa (12 de 15). El feedback és immediat, positiu i no interromp el flux: replica en pantalla el principi del Bottle Bank Arcade analitzat al capítol 3. Font: elaboració pròpia sobre la interfície de gwanlo.

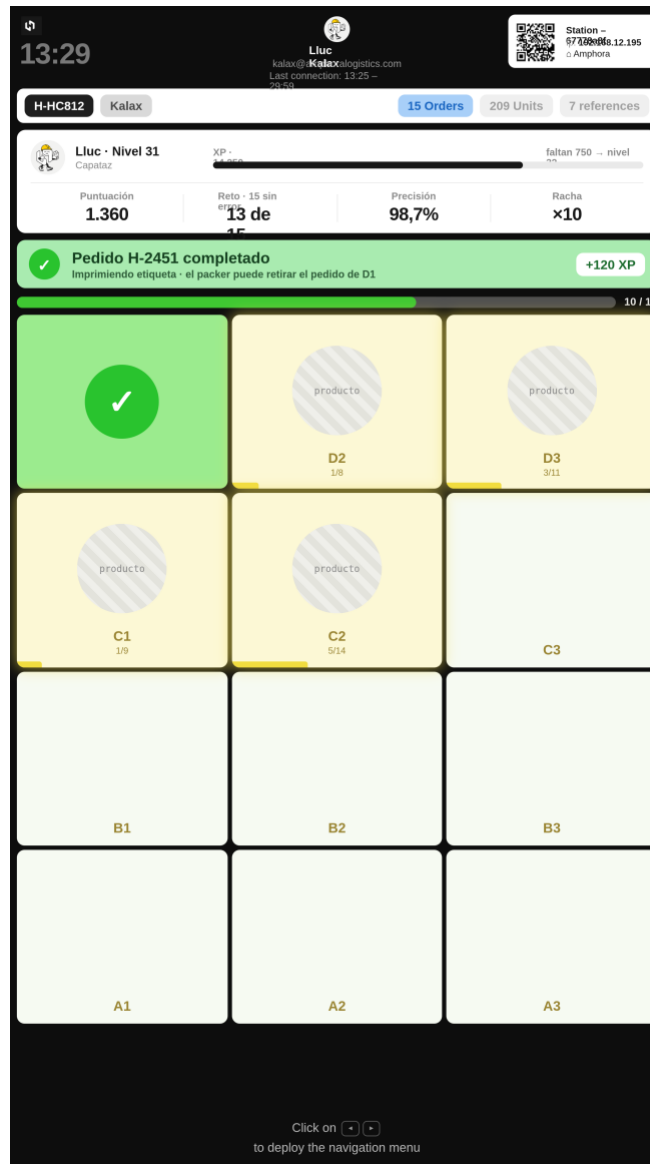


Figura A4.6 — Moment 3: comanda completada. El banner confirma el tancament de la comanda (H-2451), el bonus (+120 XP, sobre la base de +40 per comanda modulada per la ratxa, ara $\times 10$) i la coordinació cooperativa amb el rol oposat («el packer puede retirar el pedido de D1»), mentre el slot D1 es mostra en verd amb la marca de verificació. Cada comanda tancada actua com a micro-objectiu emergent (Bloc 6 del SGC) que ritma la sessió. Font: elaboració pròpia sobre la interfície de gwanlo.

En conjunt, la seqüència A4.4–A4.6 fa visibles tres de les cinc mecàniques en el punt exacte d'ús: el feedback multisensorial immediat (mecànica 2) com a canal principal, la progressió i l'XP (mecànica 1) com a acumulació contínua i el desafiament adaptatiu (mecànica 4) com a marc de la sessió. És aquesta integració dins del flux de treball —i no cap pantalla addicional que l'operari/ària hagi de consultar expressament— el que diferencia el disseny d'una capa superficial de punts i insígnies (Burke, 2014): la gamificació viu dins de la tasca, no al costat.

A4.3 Pantalles complementàries del dossier de disseny

El dossier de disseny complet inclou, a més de les pantalles reproduïdes en aquest annex, els artboards de la resta de la capa: la pantalla de fi de tasca, que substitueix el resum pla de «tasca completada» per la puntuació de sessió, les estadístiques individuals i un rànding opt-in de precisió —mai de velocitat— limitat als cinc primers llocs i anonimitzable amb sobrenoms (mecànica 3); la pantalla de pujada de rang, que celebra el pas d'un rang Amphorito al següent; el repte d'equip setmanal i el sistema de kudos (mecànica 3); i el tutorial d'onboarding de cinc missions (mecànica 5). Totes segueixen els tres principis transversals enunciats a l'inici d'aquest annex i la mateixa lògica d'integració sobre els components reals de gwanlo.

Índex de figures i taules

Aquesta secció recull totes les figures i taules referenciades al document, en ordre d'aparició, amb el seu títol complet i la pàgina d'aparició aproximada (la paginació definitiva es generarà al PDF final).

Figures

Figura 1. Bottle Bank Arcade (Volkswagen, 2009). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 2. Piano Stairs (Volkswagen, 2009). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 3. Pokémon GO (Niantic, 2016). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 4. Telepresència i flow en una atracció de realitat virtual de parc temàtic (Bafadhal et al., 2025). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 5. La presència com a factor de satisfacció en experiències immersives de museu (Choi i Nam, 2024). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 6. Overcooked: cooperació amb rols asimètrics (Ghost Town Games, 2016). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 7. Unpacking: col·locació d'objectes sense competició (Witch Beam, 2021). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 8. Salesforce Trailhead: learning paths i insígnies (Salesforce, 2014). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 9. Receptivitat del personal de magatzem a la gamificació (Lucas Systems i Wakefield Research, 2024). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 10. Arquitectura industrial estàndard de put-to-light (Banner / SSI Schäfer / Knapp). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 11. Sistema col·laboratiu de robots i operaris amb interfície gamificada (Locus Robotics). Capítol 3 — Estat de l'art.

Figura 12. Armari Kallax d'IKEA, base física sobre la qual es construeix el sistema Kalax. Capítol 4 — Solució aportada.

Figura 13. Vista general de l'estació Kalax, amb la graella central i els dos rols. Capítol 4 — Solució aportada.

Figura 14. Persona operària omplint la handbag seguint la ruta de l'aplicació mòbil. Capítol 4 — Solució aportada.

Figura 15. Detall de la graella amb una casella il·luminada (put-to-light). Capítol 4 — Solució aportada.

Figura 16. Operari recollint els productes d'una comanda finalitzada. Capítol 4 — Solució aportada.

Figura 17. Logotip de Kalax i aplicació de la marca sobre l'estació de treball. Capítol 4 — Solució aportada.

Figura 18. Esquema global de la solució Kalax: cicle operatiu, rols, capes tecnològiques i capa d'experiència. Capítol 4 — Solució aportada.

Figura 19. Menú d'assignació de tasques de l'aplicació d'Amphora (aaxaa). Capítol 5 — Metodologia i eines.

Figura 20. Representació de les entitats Kalax a DynamoDB. Capítol 5 — Metodologia i eines.

Figura 21. Pantalles del menú d'inici i del procés Kalax (gwanlo). Capítol 5 — Metodologia i eines.

Figura 22. Primer prototip funcional per a la fase de testing. Capítol 5 — Metodologia i eines.

Figura A2.1. Estació Amphora física: pantalla del printer, escàner HID, impressora Zebra i LED d'estat. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.2. Captura de la interfície KalaxShippingCard durant una sessió activa. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.3. Diagrama d'arquitectura tri-repositori (ampliació de la Figura 18). Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.4. Codi de `kalax_jobs.py` amb la funció `create_kalax_jobs`. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.5. Registre de stock-containers al DynamoDB Explorer. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.6. LED NeoPixel WS2812B i cablejat GPIO de la Raspberry Pi. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.7. Flux Kalax a l'app mòbil aaxaa (PickingMenu → StartPicking). Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.8. Pantalles de Tools: CreateKalax, KalaxInfo i ResizeKalax. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.9. Diagrama de seqüència UML del flux extrem a extrem. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.10. Estructura del monorepo aaxaa a GitHub. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.11. Subprojecte atenea_v2 en funcionament a la Raspberry Pi. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A2.12. Dashboard Axiom amb les traces OpenTelemetry d'una sessió Kalax. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Figura A4.1. Perfil de l'operari/ària a gwanlo, rang Amphorito (nivell 4). Annex 4 — Disseny visual de la capa de gamificació.

Figura A4.2. Perfil de l'operari/ària, rang Capataz (nivell 31). Annex 4 — Disseny visual de la capa de gamificació.

Figura A4.3. Perfil de l'operari/ària, rang Crack (nivell 62). Annex 4 — Disseny visual de la capa de gamificació.

Figura A4.4. Sessió Kalax en viu: producte escanejat i put-to-light (slot C2). Annex 4 — Disseny visual de la capa de gamificació.

Figura A4.5. Sessió Kalax en viu: confirmació de col·locació correcta amb XP i ratxa. Annex 4 — Disseny visual de la capa de gamificació.

Figura A4.6. Sessió Kalax en viu: comanda completada, bonus d'XP i coordinació amb el packer. Annex 4 — Disseny visual de la capa de gamificació.

Taules

Taula 1. Comparativa estructural de Kalax enfront dels competidors. Capítol 4 — Estudi de competència.

Taula 2. Stack tecnològic complet per entorn de desenvolupament. Capítol 5 — Metodologia i eines.

Taula 3. Serious Games Canvas (Garcia Pañella, 2018) aplicat a Kalax. Capítol 6 — Disseny de la solució.

Taula 4. Perfils de jugador/a (model Hexad de Marczewski, 2015) aplicats a Kalax. Capítol 6 — Disseny de la solució.

Taula 5. Quadre de puntuació projectat per a tres escenaris de jugador/a. Capítol 6 — Disseny de la solució.

Taula 6. Simulació de la progressió a través dels cinc rangs de Kalax. Capítol 6 — Disseny de la solució.

Taula 7. Resum dels nou sprints de desenvolupament. Capítol 7 — Desenvolupament.

Taula 8. Caracterització sociodemogràfica i motivacional de la mostra (N = 10). Capítol 8 — Resultats.

Taula 9. Perfil dimensional del NASA-TLX per condició. Capítol 8 — Resultats.

Taula 10. Mitjanes de les sis escales de l'UEQ per condició. Capítol 8 — Resultats.

Taula 11. Mitjanes de les cinc subescales del PENS per condició. Capítol 8 — Resultats.

Taula A2.1. Resum dels tres repositoris del sistema Kalax. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Taula A2.2. Funcions Lambda del cicle de vida d'un Kalax. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Taula A2.3. Esquema de la taula PickingJobs. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Taula A2.4. Esquema del contenidor Kalax dins de stock-containers. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Taula A2.5. Esquema de Handbags per a la collection kalax_job. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Taula A2.6. Claus de JobCustomizations rellevants per a Kalax. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Taula A2.7. Subprojectes del repositori gwanlo. Annex 2 — Arquitectura tècnica detallada.

Taules 3.1–3.3 (SUS). Respostes del System Usability Scale per condició (C1, C2, C3). Annex 3 — Instruments i dades de validació.

Taula resum SUS. SUS mitjà i interpretació qualitativa per condició. Annex 3 — Instruments i dades de validació.

Taules del NASA-TLX. Puntuacions per dimensió i operari/ària, i resum global per condició. Annex 3 — Instruments i dades de validació.

Taules 4.1–4.3 (UEQ). Mitjanes per escala, qualitats pragmàtiques/hedòniques i benchmark. Annex 3 — Instruments i dades de validació.

Taules 3.1–3.3 (PENS). Mitjanes per subescala i condició. Annex 3 — Instruments i dades de validació.

Taules de mètriques objectives i de feedback estructurat. Temps per ordre, taxa d'error, throughput, inactivitat i matriu de feedback. Annex 3 — Instruments i dades de validació.

Nota: la numeració de figures i taules segueix l'ordre d'aparició al document. Les figures d'elaboració pròpia i les fotografies pròpies s'identifiquen a la nota de cada figura; la resta n'indiquen la font corresponent. Les taules de l'Annex 3 recullen les dades completes per instrument i operari/ària de la campanya de validació. La paginació definitiva es generarà automàticament en el PDF final.