



IMPACTE DELS SIMULADORS DE VOL EN LA MULTITASCA DE JOVES NO EXPERIMENTATS

Memòria del Treball de Fi de Grau en Gestió Aeronàutica

realitzat per
Marina Giralt Sevilla
i dirigit per
Laura Calvet Liñán

Escola d'Enginyeria
Sabadell, Juliol de 2025

La sotasignat, Laura Calvet Liñán directora del Treball de Fi de Grau, professora de l'Escola d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball al que correspon la present memòria
ha estat realitzat sota la seva direcció per

Marina Giralt Sevilla

I per a que consti firma la present.
Sabadell, ***Juliol de 2025***

Signat: Laura Calvet Liñán

Agraïments

Vull agrair, en primer lloc, a Laura Calvet Liñán, tutora d'aquest TFG, la seva ajuda i gran implicació al llarg de tot el desenvolupament del projecte. La seva orientació, els consells i el suport constant han estat fonamentals per encaminar el treball i superar les dificultats que han anat sorgint. Valoro molt el seu treball com a professional, i especialment com a persona.

També vull expressar els meus agraïments a Hangar 10 per oferir-me l'oportunitat de dur a terme aquest treball en un entorn de recerca idoni. Ha estat tot un privilegi poder fer ús dels seus simuladors i aprofitar el seu coneixement del sector. La seva col·laboració ha estat clau en el desenvolupament de la part pràctica del projecte i m'ha permès aprofundir en un camp d'estudi des d'una perspectiva real i amb una clara projecció professional.

A tots els participants, companys i amics que han col·laborat en la recerca, gràcies pel vostre temps, implicació i confiança. En especial, al Jordi Manzano, que ha exercit de manera exemplar el paper d'instructor en aquesta ocasió; aquest projecte no hauria estat possible sense la seva ajuda, predisposició i motivació.

També a la Montse Lucas, psicòloga d'AESA, per haver-me dedicat part del seu temps i compartir els seus coneixements, enriquint significativament el treball amb la seva visió experta.

Finalment, vull expressar la meua profunda gratitud a totes les persones que m'han acompanyat i donat suport al llarg d'aquests anys d'estudis. Especialment a la meua família, per haver-me ensenyat a ser perseverant i per estar sempre al meu costat. I a la Clàudia, per ser el meu pilar, i pel seu suport incondicional en tot allò que faig.

Títol del projecte: Impacte dels simuladors de vol en la multitasca dels joves no experimentats.	
Autor: Marina Giralt Sevilla	Data: Juliol de 2025
Tutor: Laura Calvet Liñán	
Titulació: Grau en Gestió Aeronàutica	
Paraules clau Castellà: Simulación de vuelo, toma de decisiones, multitarea, habilidades cognitivas, entorno inmersivo, factores humanos, análisis de datos. Català: Simulació de vol, presa de decisions, multitasca, habilitats cognitives, entorn immersiu, factors humans, anàlisi de dades. Anglès: Flight simulation, decision-making, multitasking, cognitive skills, immersive environment, human factors, data analysis.	
Resum del projecte • Castellà: Este trabajo analiza el potencial de los simuladores de vuelo, concretamente el de un A320, como herramienta para evaluar y desarrollar habilidades cognitivas en jóvenes sin experiencia previa en aviación. A partir de un diseño pre-post y un enfoque mixto, se miden competencias como la toma de decisiones, la multitarea y la gestión emocional en un entorno inmersivo, seguro y altamente exigente. Se apuesta por utilizar una muestra sin experiencia para establecer una línea base neutra y objetiva, observando así la curva de aprendizaje y la respuesta de los participantes ante situaciones complejas. El proyecto también reflexiona sobre la transferencia de estas habilidades a otros ámbitos profesionales como la medicina, la educación o la gestión de emergencias, destacando la simulación como recurso formativo transversal e innovador. • Català: Aquest treball analitza el potencial dels simuladors de vol, concretament el d'un A320, com a eina per avaluar i desenvolupar habilitats cognitives en joves sense experiència prèvia en aviació. A partir d'un disseny pre-post i un enfocament mixt, es mesuren competències com la presa de decisions, la multitasca i la gestió emocional en un entorn immersiu, segur i altament exigent. S'aposta per utilitzar una mostra sense experiència per establir una línia base neutra i objectiva, observant així la corba d'aprenentatge i la resposta dels participants davant situacions complexes. El projecte també reflexiona sobre la transferència d'aquestes habilitats a altres àmbits professionals com la medicina, l'educació o la gestió d'emergències, posant en valor la simulació com a recurs formatiu transversal i innovador. • Anglès: This project explores the potential of flight simulators, specifically an A320 model, as tools to assess and enhance cognitive skills in young individuals with no prior aviation experience. Using a pre-post design and a mixed-methods approach, it measures abilities such as decision-making, multitasking, and emotional regulation within a safe yet demanding simulated environment. A neutral baseline is ensured by selecting participants without prior exposure, allowing for the observation of their natural learning curve and responses to complex tasks. The study also considers how these transferable skills can be applied in other high-responsibility fields such as healthcare, education, or emergency management, highlighting simulation as an innovative and versatile educational tool.	

Índex

1. INTRODUCCIÓ	0
1.1. Presentació del tema i context	0
1.2. Justificació del treball	1
1.3. Objectius generals i específics	2
1.4. Hipòtesis	2
1.5. Metodologia de treball i estructura memòria	2
1.6. Aportació personal i interès del tema	3
2. MARC TEÒRIC	4
2.1. Psicologia aeronàutica: definició i aplicació	4
2.1.1. Psicologia de l'aviació i el rendiment humà	4
2.1.2. Factors humans en entorns d'alta pressió	6
2.1.3. Psicologia actual aplicada a la formació de pilots	7
2.2. Workload i rendiment humà en aviació	8
2.2.1. Definició de "workload" i sobrecàrrega cognitiva	10
2.2.2. Factors que influeixen en el rendiment	12
2.2.3. Eines de mesura del workload	14
2.3. Multitasca sota pressió	15
2.3.1. Entrenament cognitiu i presa de decisions	16
2.4. Simulació com a eina formativa	17
2.4.1. Introducció històrica a la simulació de vol	18
2.4.2. Tipus de simuladors	18
2.4.3. Arquitectura d'un simulador de vol	19
2.4.4. Realisme i transferència de coneixement	20
2.4.5. Avantatges i limitacions de la simulació	21
2.5. Transferència d'habilitats des de la simulació a altres àmbits	21
2.5.1. Entrenament d'habilitats transversals mitjançant simulació	22
2.6. Simulació i comportament en joves	23
2.6.1. Impacte emocional de l'experiència de simulació	24
3. MARC METODOLÒGIC	25
3.1. Tipus d'investigació	25
3.1.1. Disseny pre-post simulació	25
3.1.2. Enfocament quantitatiu i qualitatiu	26
3.2. Participants	27
3.2.1. Grups de comparació	27
3.3. Materials i eines	27
3.3.1. Descripció de l'empresa Hangar 10	27
3.3.2. Descripció dels simuladors a Hangar 10	29
3.3.3. Escales d'avaluació	30
3.4. Justificació fases de l'estudi experimental	31
3.4.1. Pre-simulació	32
3.4.2. Simulació	37
3.4.3. Post-simulació	39
4. RECOLLIDA DE DADES	41
4.1 Pre-simulació	41
4.1.1 Vídeo Multitasking Test	41

4.1.2 Test IMMAK	42
4.2 Simulació	42
4.3 Post-Simulació.....	43
4.3.1 Test NASA TLX	43
4.3.2 Test IMMAK adaptat	44
5. TRACTAMENT DE DADES.....	45
5.1. Resultats estadístics	45
5.1.1 Test IMMAK.....	45
5.1.2 Multitasking Test.....	46
5.2. Discussió dels resultats per Participant	56
5.3.1. Validació d'hipòtesis.....	59
5.3.3. Limitacions de la mostra	60
6.CONCLUSIONS.....	62
Bibliografia	63
Annexos.....	66
Annex A - Preguntes Autoavaluació 1: Test IMMAK	66
Annex B – Qüestionari opinió Pre-Simulació	67
Annex C – Respostes Qüestionari Pre-Simulació	68
Annex D - Preguntes Autoavaluació 2 : Test IMMAK Adaptat	70
Annex E – Qüestionari Opinió Post-Simulació.....	71
Annex F - Respostes Qüestionari Post-Simulació.....	72
Annex G – Pla de Vol a la Simulació	75
Annex H – <i>Check-list</i> completa per a l'avaluació de la simulació	76
Annex I - Mètode NASA-TLX Utilitzat: Avaluació de la càrrega mental	77

ÍNDEX DE REFERÈNCIES

LLISTAT D'IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1- Model “SHEL”	5
<i>Il·lustració 2 - Gràfic entre càrrega de treball i performance . Font: Extreta de [18]. Original de Waard, 1996.</i>	11
Il·lustració 3 - Qualificacions mitjanes de les tasques millor qualificades per domini. Font: Extreta de [19].	11
Il·lustració 4 - Correlacions significatives entre les valoracions de tasques i l'experiència de vol. Font: [19].	12
Il·lustració 5 - Gràfic de rendiment teòric de la càrrega de treball en funció del temps, extret de [18]. Original de Andre, 2001.	13
Il·lustració 6 – Prova SkyTest, “ATCO - Controlador de trànsit aeri,” Font: Disponible a https://www.skytest.com/ATCO-Air-Traffic-Controller.htm	26
Il·lustració 7- Diagrama NASA TLX, marc teòric. Font: Extreta de NTP 544 - Estimació de la càrrega mental de treball, el mètode NASA TLX, Institut Nacional de Seguretat i Salut en el Treball (INSHT), 1999.	31
Il·lustració 8 - Test de Multitasca: Formulari d'Avaluació del Participat”. Font: Elaboració pròpia.	32
Il·lustració 9- Exercici 1 Multitasca: Comptabilització de X vermelles i O blaus. Font: Elaboració pròpia.	33
Il·lustració 10 - Exercici 1 Multitasca: Comptabilització percepció d'estrelles. Font: Elaboració pròpia.	33
Il·lustració 11 - Exercici 2 Multitasca Visual: Pregunta aplicant condicions prèvies. Font: Elaboració pròpia.	35
Il·lustració 12- Exercici 2 Multitasca Visual: Primera condició. Font: Elaboració pròpia.	35
Il·lustració 13 - Exercici 2 Multitasca Visual: Full de respostes. Font: Elaboració pròpia.	35
Il·lustració 14 - Exercici 3 Àudio Multitasca: Full de respostes. Font: Elaboració pròpia.	36
Il·lustració 15 - Fase Simulació, participant amb vídeo relaxant. Font: Elaboració pròpia.	42
Il·lustració 16 - Gràfic Promig per Participat. Font: Elaba.	46

LLISTAT DE TAULES

Taula 1- Dimensions de valoració NASA TLX. Font: Elaboració pròpia.	31
Taula 2 – Recopilació dades demogràfiques format Excel. Font: Elaboració Pròpia.	41
Taula 3 - Recopilació Resultats Test Multitasca format Excel. Font: Elaboració pròpia.	41
Taula 4 - Recopilació Resultats Test IMMAK Pre-Simulació. Font: Elaboració pròpia.	42

Taula 5 - Recopilació Resultats Eficiència Simulació. Font: Elaboració pròpia.	43
Taula 6 - Recopilació Resultats Test NASA TLX. Font: Elaboració pròpia.	43
Taula 7 - Recopilació Resultats Test IMMAK Adaptat. Font: Elaboració pròpia.	44
Taula 8 - Resultats Estadístics Dades Demogràfiques. Font: Elaboració pròpia.	45
Taula 9 - Promig de Puntuació per Pregunta TEST IMMAK. Font: Elaboració pròpia.	46
Taula 10 - Promig de Resposta per Participant TEST IMMAK. Font: Elaboració Pròpia.	46
Taula 11 - Resultats Test Multitasca Part 1/ Pregunta 2. Font: Elaboració Pròpia.	48
Taula 12 - Promig Puntuació per Pregunta Test Multitasca Part 2. Font: Elaboració Pròpia.	48
Taula 13 - Promig Puntuació per Participant Part 2. Font: Elaboració Pròpia.	49
Taula 14 - Exemple Avaluació Check-list Simulació, Fase Enlairament. Font: Elaboració Pròpia.	51
Taula 15 - Mètode Puntuació Tasques Simulació. Font: Elaboració pròpia.	51
Taula 16 - Valoració Resultats Simulació en Pilot Automàtic. Font: Elaboració Pròpia.	52
Taula 17 - Valoració Resultats Simulació Sense Pilot Automàtic. Font: Elaboració Pròpia.	52
Taula 18 - Valoració Resultats Simulació Sense Pilot Automàtic amb Gasos. Font: Elaboració Pròpia...	53
Taula 19 - Valoració Resultats Simulació Sense Ajudes. Font: Elaboració Pròpia.	54
Taula 20 - Anàlisi Puntuacions Totals Simulació. Font: Elaboració pròpia.	55
Taula 21 - Puntuacions resultants del estudi. Font: Elaboració Pròpia.	56

LLISTAT DE GRÀFICS

Gràfic 1 - Promig per Pregunta TEST IMMAK. Font: Elaboració amb Python.	46
Gràfic 2 - Promig per Participant TEST IMMAK. Font: Elaboració pròpia. Font: Elaboració amb Python.	46
Gràfic 3 - Puntuacions Test Multitasca Part 1. Font: Elaboració pròpia.	46
Gràfic 4 - Puntuacions Test Multitasca Part 2. Font: Elaboració pròpia.	48
Gràfic 5 - Puntuacions Test Multitasca Part 3. Font: Elaboració pròpia.	49
Gràfic 6 - Resultats Simulació en Pilot Automàtic. Font: Elaboració Pròpia.	51
Gràfic 7 - Resultats Simulació Sense Pilot Automàtic. Font: Elaboració Pròpia.	52
Gràfic 8 - Resultats Simulació Sense Pilot Automàtic amb Gasos. Font: Elaboració Pròpia.	53
Gràfic 9 - Resultats Simulació Sense Ajudes. Font: Elaboració Pròpia.	54
Gràfic 10 - Puntuacions Totals Simulació. Font: Elaboració pròpia.	55

GLOSARI D'ACRÒNIMS

- ATCO** – *Air Traffic Control Officer* (Controlador de Trànsit Aeri)
- AESA** – *Agencia Española de Seguridad Aérea* (Agència Espanyola de Seguretat Aèria)
- BLS** – *Basic Life Support* (Suport Vital Bàsic)
- CFIT** – *Controlled Flight Into Terrain* (Vol Controlat contra el Terreny)
- CRM** – *Crew Resource Management* (Gestió de Recursos de la Tripulació)
- EASA** – *European Union Aviation Safety Agency* (Agència Europea de Seguretat Aèria)
- ESAVI** – *Escuela de Aviación Policial* (Escola d'Aviació Policial)
- FEAST** – *Fatigue and Stress Test* (Test d'Estrès i Fatiga)
- FFS** – *Full Flight Simulator* (Simuladors de Vol Complets)
- FH** – *Factors Humans*
- FMS** – *Flight Management System* (Sistema de Gestió de Vols)
- GSR** – *Galvanic Skin Response* (Resposta Galvànica de la Pell)
- HCI** – *Human-Computer Interaction* (Interacció Humà-Computadora)
- HRV** – *Heart Rate Variability* (Variabilitat de la Freqüència Cardíaca)
- IMDELP** – *Instrument per a Detectar l'Estrès Laboral per a Pilots*
- IMMAK** – *International Memory and Multitasking Assessment Kit* (Test de Memòria Operativa i Multitasca)
- MET** – *Multiple Errands Test* (Prova de Múltiples Tasques)
- NAS** – *Nursing Activities Score* (Puntuació d'Activitats d'Infermeria)
- NASA-TLX** – *NASA Task Load Index* (Índex de Càrrega de Tasca de la NASA)
- OACI** – *International Civil Aviation Organization* (Organització Aviació Civil Internacional)
- OMS** – *Organització Mundial de la Salut*
- PF** – *Pilot Flying* (Pilot Volador)
- PNF** – *Pilot Not Flying* (Pilot No Volador)
- SID** – *Standard Instrument Departure* (Sortida Estàndard per Instrument)
- SSR** – *Sociotècnic Aeroespacial*
- SWAT** – *Subjective Workload Assessment Technique* (Tècnica d'Avaluació Subjetiva de la Càrrega de Treball)
- VOR** – *Very High Frequency Omnidirectional Range*
- VR** – *Virtual Reality* (Realitat Virtual)

1.INTRODUCCIÓ

Quan pensem en aviació, sovint la imaginem com un món altament especialitzat i allunyat de la vida quotidiana. Però, què passaria si consideréssim que moltes de les eines i procediments que fem servir cada dia tenen el seu origen en una cabina de pilot? O a l'inrevés: que hàbits o tecnologies comunes hagin ajudat a fer més segurs els vols que agafem per viatjar?

Un exemple clar és el del cinturó de seguretat. Aquesta eina bàsica de protecció va ser implementada per primera vegada en avions a principis del segle XX, molt abans que es convertís en obligatòria als cotxes. De la mateixa manera, les llistes de verificació (*checklists*), tan habituals avui dia en entorns mèdics, quirúrgics o d'emergències, van néixer a la cabina d'un pilot per evitar errors en processos crítics. Avui en dia, l'OMS recomana l'ús de *surgical safety checklists* inspirades explícitament en protocols d'aviació.

Però el camí també va en direcció contrària. Els sistemes *d'eye-tracking*, utilitzats inicialment per estudiar el comportament del consumidor i el màrqueting, avui s'apliquen en el disseny de *cockpits* per optimitzar la disposició dels instruments i reduir la càrrega mental dels pilots.

Vivim en una societat on la capacitat de gestionar múltiples tasques alhora i prendre decisions ràpides s'ha convertit en una competència clau, no només en l'àmbit professional, sinó també en la vida quotidiana. La multitasca, tradicionalment associada a contextos tecnològics i d'alt rendiment, troba una aplicació òptima dins del món de l'aviació, on un error de fraccions de segon pot tenir conseqüències crítiques.

En aquest escenari, la simulació de vol emergeix com una eina poderosa no només per entrenar pilots professionals, sinó també com una possible eina educativa i formativa per a joves. Els simuladors moderns repliquen amb una precisió sorprenent entorns d'estrès i alta càrrega cognitiva, permetent entrenar habilitats que van molt més enllà del domini tècnic: concentració sostinguda, atenció dividida, presa de decisions ràpida i control emocional.

Aquest treball parteix d'una hipòtesi: els simuladors de vol poden tenir un impacte directe en el desenvolupament de competències cognitives en joves, especialment en àrees com el multitasca i la presa de decisions sota pressió. I el més important: poden oferir-nos dades valuoses quan les analitzem “fora de la caixa”, és a dir, no només des de la perspectiva aeronàutica, sinó com una finestra per entendre millor com funcionem en altres entorns.

Autors com David R. Hunter i Monica Martinussen argumenten en les seves obres que la clau del futur de l'aviació no només passa per l'enginyeria, sinó pel coneixement profund del factor humà [1]. Aquest treball se suma a aquesta visió, aportant un enfocament nou: veure els simuladors no només com eines d'entrenament, sinó com laboratoris de cognició que poden aportar solucions a reptes del dia a dia.

1.1. Presentació del tema i context

Les habilitats com la presa de decisions, la gestió de diverses tasques alhora i el control sota pressió són essencials en moltes situacions, especialment en entorns professionals on cal actuar amb rapidesa i precisió. Aquest tipus de competències són molt presents en l'àmbit de l'aviació, on la seguretat i l'eficiència depenen sovint del rendiment humà més que de la tecnologia.

Per això, l'aviació ha desenvolupat eines com els simuladors de vol, pensats per entrenar situacions complexes en condicions segures. Aquests simuladors permeten reproduir escenaris molt pròxims a la realitat, que posen a prova les capacitats cognitives dels pilots.

Podrem veure com diversos estudis han demostrat que la utilització de simulació té un impacte positiu en el desenvolupament d'habilitats cognitives com la presa de decisions i la multitasca. Parnandi et al. (2022) van utilitzar tècniques com l'espectroscòpia funcional d'infraroig proper (fNIRS) i l'electrocardiograma (ECG) per mesurar la càrrega mental durant tasques simultànies en entorns de vol simulat, i van observar una millora significativa en la gestió cognitiva dels participants [2].

De manera similar, Tiwari et al. (2024) van estudiar com la dificultat de la tasca influeix en el rendiment multitasca dins d'entorns de realitat mixta, reforçant la idea que l'exposició progressiva a escenaris complexos pot millorar la capacitat d'atenció dividida i d'adaptació ràpida [3].

A més, estudis en el camp de la psicologia aplicada han posat de manifest que els entorns immersius de simulació, com els que s'utilitzen en la formació de pilots, poden generar millores significatives en funcions executives, incloent-hi la presa de decisions sota pressió, l'atenció sostinguda i la memòria de treball [6]. Tot i això, la majoria d'aquestes investigacions s'han realitzat en entorns altament controlats o amb simuladors simplificats, sovint allunyats de les condicions reals d'una cabina de vol. En molts casos, els participants són estudiants de psicologia, professionals de l'àmbit aeronàutic o militars, i els escenaris simulats es limiten a tasques molt concretes i breus, dissenyades específicament per a estudis cognitius. Això fa que els resultats, tot i ser útils a nivell teòric, siguin difícils d'extrapolar a contextos reals o aplicables en entorns educatius [4].

Aquest projecte parteix de la idea que els simuladors també poden ser útils fora del context estrictament tècnic. Concretament, s'estudia com l'experiència dins d'un simulador de l'Airbus A320 pot ajudar joves sense experiència prèvia en aviació a desenvolupar habilitats com la multitasca i la presa de decisions. El treball s'enfoca en observar com reaccionen aquests participants davant situacions simulades, com aprenen a gestionar-les i com evoluciona la seva manera d'actuar després d'una exposició guiada i estructurada [2].

Amb el suport del centre Hangar 10 [5], un centre especialitzat en simulació i entrenament aeronàutic que es dedica a la formació pràctica i l'ús de simuladors de vol per a pilots o entusiastes de l'aviació, i mitjançant una combinació de proves objectives i valoracions personals, el projecte vol entendre millor el potencial formatiu d'un entorn de simulació com a eina educativa i d'entrenament mental.

1.2. Justificació del treball

Aquest treball parteix de la necessitat d'explorar nous camins per entrenar habilitats cognitives d'una manera pràctica, aplicable i atractiva per als joves. Malgrat que existeixen nombroses metodologies educatives, poques ofereixen un entorn on es pugui experimentar la presa de decisions sota pressió de manera controlada i segura.

Els simuladors de vol, habitualment utilitzats per professionals, ofereixen una oportunitat única per estudiar el rendiment cognitiu de persones no expertes davant situacions complexes. Utilitzar aquest tipus d'eina en un context formatiu no tradicional permet observar aspectes que sovint no es poden entrenar amb formats convencionals com les classes teòriques o els tests digitals.

A més, aquest projecte pot aportar informació útil per repensar com es poden aplicar tecnologies existents a entorns educatius o de desenvolupament personal, i obrir línies de treball que connectin la simulació amb la millora d'habilitats que són útils en diferents entorns, siguin o no professionals.

També és rellevant des d'un punt de vista metodològic, ja que combina dades quantitatives amb observacions qualitatives, enriqueix la comprensió dels resultats i permet entendre millor no només què canvia en els participants, sinó també com i per què es produeixen aquests canvis.

1.3. Objectius generals i específics

Aquest projecte es planteja amb la intenció d'observar com respon un grup de joves davant una situació simulada de vol que implica càrrega cognitiva, necessitat de rapidesa i coordinació. L'objectiu principal és analitzar si l'exposició al simulador pot ajudar a desenvolupar o reforçar habilitats específiques relacionades amb la presa de decisions i la multitasca, utilitzant per això un model d'entrenament realista com és l'Airbus A320.

Per poder desenvolupar aquesta qüestió, es defineixen els següents objectius:

Objectiu general

- Analitzar l'efecte de la simulació de vol en el desenvolupament de la multitasca i la presa de decisions en joves sense experiència aeronàutica prèvia.

Objectius específics

1. Avaluar el comportament i percepció dels joves en escenaris de multitasca abans i després de l'ús del simulador.
2. Analitzar quins elements del simulador activen més intensament les habilitats relacionades amb l'atenció i la coordinació.
3. Valorar si la simulació podria esdevenir una metodologia aplicable en altres àmbits que requereixin habilitats cognitives similars.
4. Determinar si poden mostrar una millora significativa en poc temps, fet que indicaria un alt potencial formatiu de la simulació.
5. Comparar els resultats amb pilots experimentats per identificar quines habilitats són més intuïtives i quines requereixen entrenament específic.

1.4. Hipòtesis

Aquest estudi parteix de la idea que la simulació de vol pot ser una eina útil no només en l'àmbit aeronàutic, sinó també en altres contextos formatius. A través de l'experiència dins del simulador A320, es vol comprovar si els joves sense experiència poden desenvolupar habilitats com la multitasca i la presa de decisions de manera significativa i en un període breu.

Les hipòtesis principals són:

- **H1.** L'exposició al simulador d'A320 millora la capacitat de gestionar tasques simultànies (multitasca) de manera objectiva en participants sense formació aeronàutica.
- **H2.** Els joves sense experiència poden mostrar una evolució significativa en la presa de decisions en un període breu.
- **H3.** La simulació pot ser útil com a metodologia transferible per entrenar habilitats cognitives aplicables en altres àmbits formatius.
- **H4.** La percepció que tenen els participants sobre les seves pròpies capacitats també millora després de la simulació, cosa que pot afavorir la seva autoconfiança i motivació.

1.5. Metodologia de treball i estructura memòria

Aquesta memòria es desenvolupa a partir d'una metodologia mixta que combina el treball teòric amb la implementació pràctica d'un estudi experimental. L'enfocament es basa en la recollida i anàlisi de dades quantitatives i qualitatives amb l'objectiu d'explorar l'impacte de la simulació de vol en la multitasca i la presa de decisions en joves sense experiència prèvia.

Per donar fonament al projecte, s'ha realitzat una revisió de la literatura científica prèvia, amb la finalitat d'identificar estudis rellevants, detectar buits en la recerca existent i justificar la necessitat d'aquest enfocament.

El treball comença amb una **introducció** (capítol 1) on es presenta el tema, s'exposen les motivacions personals, els objectius, les hipòtesis de partida, i es detalla la metodologia utilitzada, així com l'estructura de la pròpia memòria.

El **capítol 2** desenvolupa el **marc teòric**, on s'aborden els fonaments de la psicologia aeronàutica, els conceptes de multitasca i presa de decisions sota pressió, la càrrega cognitiva, així com la història i estructura dels simuladors de vol, amb especial atenció als models utilitzats a Hangar 10. També s'hi inclouen referències a estudis previs i a l'ús de la simulació en altres sectors com la medicina o l'educació.

Al **capítol 3** es presenta el **marc metodològic de l'estudi**: el disseny experimental, els criteris de selecció dels participants, la descripció de les proves utilitzades (tant objectives com subjectives), i les fases del procés (pre-simulació, simulació i post-simulació). També s'hi defineixen els instruments de recollida de dades i els criteris d'anàlisi.

El **capítol 4** està dedicat als **resultats i la seva anàlisi**, on es presenten les dades recollides durant l'experiment i es comparen els resultats entre grups (joves, pilots novells i pilots experimentats). També es tracten aspectes qualitatius com la percepció dels participants i el seu nivell de motivació o d'implicació durant l'activitat.

En el **capítol 5**, s'exposen les **conclusions generals**, la valoració del grau d'assoliment dels objectius, les limitacions trobades i algunes propostes de futur que podrien millorar o ampliar la recerca realitzada.

També es recullen els **agraïments**, on s'expressa el reconeixement i la gratitud a totes les persones i entitats que han contribuït, d'una manera o altra, a fer possible aquest projecte.

I finalment, s'inclouen els **annexos i la bibliografia**, amb els materials utilitzats (qüestionaris, gràfics, dades brutes...), les referències teòriques i els documents consultats per al desenvolupament del treball.

1.6. Aportació personal i interès del tema

Des de ben petita he tingut molt clar que volia dedicar-me al món de l'aviació. És un sector que sempre m'ha transmès coses molt maques, no només pel que representa professionalment, sinó també per l'impacte que té en les persones i en la manera com ens relacionem amb el món. Estudiant **Gestió Aeronàutica**, he pogut entendre moltes de les estructures i processos que fan funcionar aquest entorn, i vull acabar aquesta etapa també donant importància a **l'altra gran part del sector: la part humana**.

Aquest treball m'ha permès endinsar-me en aquesta altra cara del sector que no està tan enfocada en els sistemes o la logística, sinó en **les persones i les seves capacitats**. Ha estat una oportunitat per explorar aspectes com la presa de decisions, la reacció sota pressió o la multitasca, i fer-ho des d'una perspectiva que combina coneixement tècnic, observació i, sobretot, reflexió.

També he aprofitat per demostrar molts altres dels meus interessos personals com són: la recerca, la creativitat, la curiositat per entendre què passa quan ens enfrontem a situacions complexes i la voluntat de buscar solucions més enllà del que és evident.

2. MARC TEÒRIC

2.1. Psicologia aeronàutica: definició i aplicació

La **PA** (psicologia aeronàutica) és fonamental per comprendre com els pilots **interactuen** amb la tecnologia i com gestionen l'estrès, la pressió i la càrrega cognitiva durant el vol. Es tracta d'una branca especialitzada de la psicologia que se centra en l'estudi dels factors psicològics que influeixen en la seguretat i eficàcia de l'operació d'aeronaus. En un entorn on les decisions han de ser ràpides i precises, aquesta disciplina no només busca **optimitzar el rendiment humà**, sinó també **garantir la seguretat** de les operacions aèries, un aspecte vital per a l'aviació moderna [6].

Des de la seva consolidació com a disciplina a mitjans del segle XX, la psicologia aeronàutica s'ha vinculat estretament amb la medicina, adoptant un enfocament interdisciplinari per abordar la salut mental dels pilots. Els primers indicis d'aquesta problemàtica es remunten als trastorns psicològics observats en pilots militars durant la Primera Guerra Mundial, els quals van motivar la recerca en aquest camp, inicialment centrada en **processos de selecció** i, més endavant, també en **intervenció** [7].

L'experiència adquirida a través de l'aviació militar durant els conflictes bèl·lics va permetre generar molt coneixement, es va fer evident la necessitat de comprendre millor el **comportament humà** en vol. No obstant això, és a partir de la Segona Guerra Mundial quan la PA comença a consolidar-se com una disciplina pròpia, amb l'objectiu de reduir els errors humans, **millorar la selecció** de pilots i comprendre l'**impacte de l'estat mental** en situacions de molta pressió i entorns operatius complexos [6].

Actualment, aquesta disciplina s'ha expandit a tots els rols operatius dins del **sistema aeronàutic**, incloent-hi pilots, controladors aeris, tècnics de manteniment, tripulants de cabina i equips de gestió. El seu objectiu principal continua sent analitzar com les variables psicològiques influeixen en la seguretat, el rendiment i la coordinació de tasques dins d'aquest entorn. Així, s'ha convertit en una disciplina plenament integrada en el sistema socio-tècnic aeronàutic, aportant teories, tècniques i eines per entendre, predir i optimitzar el rendiment i l'eficiència de les persones que el componen. És fonamental comprendre les **capacitats i limitacions humanes** per poder **adaptar-les** mitjançant eines i entrenaments més eficients per a l'usuari [8].

La seva aplicació s'estén a diverses àrees, com ara: la selecció i entrenament de pilots —avaluant habilitats com l'atenció, la memòria de treball, la presa de decisions i la gestió emocional—; el disseny d'interfícies **persona-màquina** —assegurant que els sistemes tècnics siguin intuïtius i fàcils d'utilitzar de manera segura en qualsevol circumstància—; i la implementació de programes com el **CRM** (Crew Resource Management), un entrenament destinat a millorar la comunicació, el repartiment d'informació i la presa de decisions conjunta entre els membres de la tripulació, amb l'objectiu de **minimitzar errors** i millorar la seguretat operativa [9].

2.1.1. Psicologia de l'aviació i el rendiment humà

En l'àmbit aeronàutic, el **SSR** (sistema sociotècnic aeroespacial) constitueix un element clau de seguretat, amb un enfocament prioritari en els **FH** (factors humans), tot i que també considera els factors tècnics. Malgrat el seu alt nivell de seguretat, els accidents que es produeixen en aviació tenen com a causa principal els FH. Aquests errors no acostumen a ser de naturalesa sistemàtica, sinó que estan relacionats amb les aptituds, limitacions fisiològiques i psicològiques de l'ésser humà. Afecten la manera com es **comunica**, com es **treballa en equip** i com s'autogestiona en situacions d'estrès o amb una elevada càrrega de treball [10].

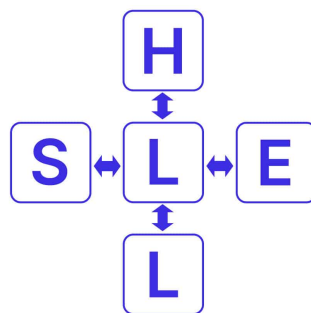
Pel que fa a FH, és essencial entendre la seva definició: una ciència aplicada que estudia les **persones treballant en conjunt** i en **interacció** amb les màquines, considerant les variables que influeixen tant a nivell individual com col·lectiu. A nivell institucional, els FH van començar a rebre atenció amb la fundació de la Societat d'Investigació Ergonòmica (1949), la Societat de Factors Humans (1957) i l'Associació Internacional d'Ergonomia (1959). Més endavant, l'Organització Internacional d'Aviació Civil (OACI), a partir de 1989, va incorporar com a requisit la formació en factors humans dins la capacitat aeronàutica. Aquests estudis s'anomenen habitualment “ergonomia” a Europa i “factors humans” als Estats Units [10].

Els FH se centren en l'estudi de la interacció entre persones, màquines, procediments i l'entorn on es desenvolupen les operacions. Aquest concepte va ser aprofundit pel Dr. Edwiy Edwards, pioner en aquest camp, a través del model **SHEL**, creat als anys setanta.

Aquest model estableix quatre components fonamentals:

- **S de Software:** Inclou els elements no materials que guien l'operació, com ara reglaments, manuals, lleis i procediments establerts. Aquests recursos proporcionen la informació necessària per executar les tasques de manera segura i eficient.
- **H de Hardware:** Fa referència a la infraestructura física com aeronaus, vehicles, tallers i instal·lacions. Un mal disseny o manteniment deficient d'aquests components pot ser causa d'errors humans.
- **L de Liveware:** Representa el component humà, el més rellevant del model, ja que és el centre de l'acció. Les capacitats cognitives, el comportament i les limitacions de les persones tenen una influència directa sobre el rendiment i la seguretat. Les seves interaccions amb la resta de components són essencials per al bon funcionament del sistema.
- **E d'Environment:** Correspon a l'entorn físic on es realitzen les operacions, incloent factors com la temperatura, la humitat, la pressió atmosfèrica, les condicions meteorològiques, la il·luminació i altres variables ambientals que poden condicionar el rendiment humà.

L'equilibri entre els quatre components del **model SHEL** és essencial per garantir el funcionament òptim i segur del sistema, ja que els errors humans poden derivar tant de fallades internes d'un component com de les seves interaccions. Per exemple, la relació **persona-màquina** pot generar errors si els equips tenen un disseny deficient o presenten falles tècniques; **el medi ambient** pot ser origen de problemes quan es donen condicions adverses com temperatures extremes o il·luminació inadequada; la relació **persona-persona** pot fallar per deficiències en la comunicació o la coordinació dins l'equip, i, finalment, la relació **persona-suport** pot provocar errors quan manca la informació o els recursos necessaris per a l'operació. Tot i que la proposta inicial d'Edwards va rebre crítiques per la seva visió idealista, ell va demostrar que anava en la direcció correcta. El model SHEL va suposar un abans i un després en l'estudi dels factors humans en aviació, i encara avui és una eina essencial per comprendre com les interaccions entre l'ésser humà i la resta d'elements del sistema poden derivar en errors. A més, serveix per establir mesures que millorin la seguretat i l'eficàcia en entorns operatius complexos com és el cas de l'aviació [11].



Il·lustració 1- Model “SHEL”

Un dels elements clau en el rendiment humà, és la **càrrega cognitiva** o *workload*, entesa com la quantitat de recursos mentals que cal aplicar per completar les tasques dins d'un límit temporal. Quan aquesta càrrega supera els límits tolerables, els recursos cognitius es poden saturar, i això afecta negativament la capacitat de processar informació i de prendre decisions adequades [12]. Tot i que amb l'evolució de la tecnologia aeronàutica s'hagin automatitzat molts processos i hagi permès reduir considerablement la càrrega física dels pilots, tot i això, aquest avanç ha comportat també un augment de la càrrega cognitiva, ja que les noves eines tecnològiques requereixen una **supervisió constant** i una **gestió mental** més exigent [8]. Així, tot i que van **reduir** significativament la tripulació, van posar en perill la conservació de l'**estat d'alerta situacional**.

L'aviació comercial és un dels medis de transport més segurs, un assoliment que s'ha aconseguit gràcies a la millora constant dels sistemes de seguretat, però també al paper fonamental de la psicologia en FH. Tot i allò aconseguit, destacar que encara més del **70% dels accidents** es produeixen per factors humans, cosa que posa de manifest que els errors humans continuen sent un dels principals riscos en l'aviació. El rol de la psicologia en la formació i la prevenció d'accidents es clau, ja que tot i les millores tecnològiques, els errors humans continuen sent una de les principals causes dels incidents. Aquest enfocament interdisciplinari ha estat essencial per al desenvolupament de programes de formació que no només valoren aspectes tècnics, sinó també els factors cognitius i emocionals dels pilots. El **JDR** (model de Demandes i Recursos Laborals) destaca la importància d'integrar els factors emocionals com el **burnout** i el **engagement** dins de l'avaluació de la formació, ja que aquests factors influeixen directament en la capacitat dels pilots per gestionar tasques d'alta pressió.

Els estudis realitzats fins a la data indiquen que la professió aeronàutica, especialment la del pilot d'avió, es considera una de les **més exigents i estressants**. Aquest alt nivell d'estrès pot tenir efectes negatius no només sobre la salut dels professionals, sinó també sobre l'organització per a la qual treballen. Les conseqüències de l'estrès continuat en aquest àmbit poden repercutir en la capacitat de presa de decisions i en el rendiment general, per la qual cosa és essencial monitoritzar i gestionar la salut psicològica d'aquest col·lectiu per garantir operacions segures i eficients [13].

2.1.2. Factors humans en entorns d'alta pressió

Els FH impliquen també la interacció entre les persones, les màquines i l'entorn. Aquesta interacció afecta directament el rendiment dels pilots, tripulants de cabina, instructors i altres professionals, ja que cadascun té un paper fonamental en el procés de presa de decisions i en la gestió de situacions d'alta pressió. Els programes d'entrenament per a pilots es centren en la presa de decisions sota pressió, la **consciència situacional** (reconeixement i interpretació de canvis en l'entorn) i les **habilitats de comunicació** per millorar la seva capacitat de gestionar situacions d'alta complexitat. Els **TCP** (tripulants de cabina) també tenen un paper fonamental, ja que gestionen l'estrès, mantenen la calma en situacions d'emergència, resolen conflictes i estan preparats per actuar de manera ràpida en casos com emergències mèdiques a bord. Els **instructors**, per la seva part, són claus en el disseny de programes d'entrenament, guiant els alumnes per afrontar situacions d'alta pressió i assegurant-se que els operadors estiguin ben preparats. Els **mecànics i enginyers**, com a part del personal de handling, també formen part d'aquests FH, ja que contribueixen a la seguretat i eficàcia global de les operacions. La seva tasca, tot i no ser directament visible a la cabina, afecta els operadors en termes de seguretat dels sistemes aeris i l'eficàcia en la reparació i manteniment de les aeronaus [14].

El paper de la **tecnologia** en la gestió en FH és també un aspecte clau dins de l'aviació moderna. Els sistemes avançats a la cabina de comandament, les alertes automatitzades i les eines digitals ajuden els pilots i tripulants de cabina a prendre **decisions informades**, reduint la seva càrrega cognitiva. No obstant això, l'ús d'aquesta tecnologia requereix un equilibri precís, ja que ha de complementar, i no substituir, el judici humà. Així, la combinació d'entrenament continu i integració adequada de la tecnologia, permet a la indústria aeronàutica mantenir els alts estàndards d'eficiència i seguretat.

Els **desafiaments** als quals s'enfronten els professionals de l'aviació, com ara jornades llargues, horaris irregulars, situacions d'emergència i distraccions internes i externes, poden augmentar la

càrrega cognitiva i provocar estrès i fatiga, la qual pot perjudicar la seva capacitat de mantenir l'atenció i coordinar diverses tasques crítiques [7]. Aquest estat afecta directament el rendiment dels pilots, la seva capacitat de gestionar tasques múltiples i la seva salut general. El treball en aviació implica prendre decisions ràpides en situacions crítiques, i una **quantitat moderada** d'ansietat, tal com indica la **Llei de Yerkes-Dodson** (1908), pot ajudar a mantenir un rendiment òptim. Tanmateix, un **excés** d'ansietat pot reduir la capacitat de processar informació i deteriorar la presa de decisions [13]. Per aquests motius, la càrrega de treball dels pilots és força elevada a causa de la gran quantitat d'informació que han de processar en un temps molt reduït, tenint en compte que els avions actuals volen a velocitats cada vegada més altes. Aquesta càrrega es fonamenta principalment en l'**aspecte psicològic**, més que en el comportamental. Els coneixements adquirits pel pilot durant la seva formació han de ser prou sòlids per suportar situacions de gran estrès [13].

2.1.3. Psicologia actual aplicada a la formació de pilots

Pilotar un avió és una tasca que requereix una **gran responsabilitat**, no només pel coneixement tècnic necessari, sinó també per la capacitat d'operar sota pressió, mantenint una consciència situacional òptima i una gestió emocional adequada. Els pilots han de demostrar que no només posseeixen les aptituds físiques i tècniques per a la feina, sinó també una estabilitat psicològica que els permeti prendre decisions en situacions d'alta pressió. La PA juga un paper fonamental en la selecció dels candidats per a la formació de pilots, avaluant no només els aspectes físics i tècnics, sinó també els nivells d'ansietat, possibles símptomes de depressió, trastorns psicossomàtics i altres aspectes emocionals. Mitjançant tests psicòmètrics, qüestionaris i entrevistes, aquests professionals recullen informació sobre el perfil psicològic dels candidats, ja que el benestar psicològic del pilot és essencial per la seguretat pública.

Als inicis de l'aviació, els pilots eren vistos com figures amb un caràcter excepcionalment fort: poderosos, intrèpids i sovint agressius, capaços de superar els límits humans per mitjà del vol. Aquestes qualitats eren considerades imprescindibles per complir amb les exigències d'un pilot de guerra, i expressions com "right stuff". No obstant això, amb l'evolució de l'aviació comercial, aquest mite ha estat substituït per una nova generació de pilots més enfocats en una presa de decisions més complexa i col·laborativa, on el reconeixement i la gestió de l'error humà tenen un paper destacat [13]. A on, L'estudi psicològic dels pilots se centra en analitzar funcions cognitives i conductuals com el processament d'informació, la presa de decisions, l'aprenentatge o la memòria.

El millor exemple, es el cas del **vol 9525 de Germanwings**, en què el copilot va estavellar l'aeronau de manera deliberada el 24 de març de 2015, és un exemple tràgic de com els trastorns psicològics no tractats poden comprometre la seguretat. El copilot, Andreas Günter Lubitz, presentava psicopatia i ideació suïcida, i la seva condició es va veure agreujada per la seva decisió de no prendre la baixa laboral. Aquest incident subratlla la necessitat de garantir que els pilots mantinguin una bona salut mental durant tota la seva carrera professional [15].

Els psicòlegs aeronàutics no només avaluen i diagnostiquen, sinó que també intervenen en crisis aeronàutiques. Aquestes crisis poden ser molt diverses, com accidents aeris, segrests d'avions, atemptats o altres situacions dramàtiques que requereixen una resposta immediata i eficaç per part dels professionals implicats. Aquesta orientació reflecteix l'augment de la importància de la psicologia dins de la formació aeronàutica per garantir que els pilots siguin capaços d'operar en entorns de gran complexitat amb seguretat [16].

Un dels buits més destacats en la literatura actual és que molts estudis se centren en pilots ja formats o en mètodes tradicionals d'ensenyament, deixant poc espai per a la investigació sobre com els simuladors de vol poden beneficiar joves sense experiència prèvia. Aquesta línia de recerca obre noves possibilitats educatives no només en l'aviació, sinó també en altres camps com la medicina i l'enginyeria, on s'utilitzen capacitats similars que en la simulació de vol [6, 7].

En una entrevista recent per aquest mateix estudi amb **Montse Lucas**, psicòloga aeronàutica de AESA, es va discutir una qüestió important en el context de l'evolució professional dels pilots. Lucas va

destacar la falta de suport psicològic continuat per als pilots després de la seva formació inicial, apuntant que la figura del psicòleg aeronàutic sol estar present principalment quan els pilots necessiten ajuda, com en crisis o incidents específics, però no es compta amb un assessorament regular per ajudar-los a gestionar l'estrès i la càrrega cognitiva en la seva rutina diària. Aquesta manca de suport constant, segons Lucas, pot ser un punt feble en la seguretat i el benestar dels pilots, ressaltant la importància de tenir més figures assessorats, en lloc d'un model que només reculli avaluacions puntuals. La presència de psicòlegs aeronàutics assessors podria garantir que els pilots comptin amb les eines necessàries per afrontar les exigències emocionals i cognitives del seu treball, millorant no només el seu benestar, sinó també la seguretat en les operacions aèries.

2.2. Workload i rendiment humà en aviació

El concepte de **workload o càrrega cognitiva** és essencial per comprendre com els pilots gestionen les demandes mentals i emocionals durant les seves operacions. Aquesta càrrega no només inclou les exigències tècniques relacionades amb el vol, sinó també els desafiaments psicològics i emocionals que els pilots han de manejar en situacions crítiques. La càrrega cognitiva té un impacte directe en el rendiment dels pilots, ja que influeix en la seva capacitat d'atenció, coordinació i presa de decisions ràpides, aspectes fonamentals per garantir la seguretat del vol [13].

Amb la incorporació de l'**automatització** i els avenços tecnològics, el disseny de les cabines de comandament ha experimentat un canvi dràstic, la qual cosa també ha augmentat la càrrega mental de les tripulacions i els controladors aeris. Tot i que la tecnologia ajuda a millorar certs processos, també presenta nous reptes, ja que pot sobrecarregar la capacitat cognitiva dels operadors humans si les demandes de les tasques superen les seves **habilitats naturals**. Aquest tipus de sobrecàrrega pot tenir conseqüències greus i perilloses, per la qual cosa s'ha desenvolupat un enfocament psicofisiològic (denominat "enginyeria psicofisiològica") per avaluar la interacció entre l'ésser humà i la màquina, amb especial èmfasi en la càrrega mental dels pilots [17].

La variabilitat de la càrrega de treball

La càrrega de treball de la tripulació de vol pot variar significativament durant un vol, fins i tot en vols rutinaris, depenent de les condicions i situacions del medi. Les tasques que ha de realitzar la tripulació estan distribuïdes normalment entre el **PF** (pilot volador) i **PM** (pilot monitor), però la intensitat d'aquestes tasques pot canviar considerablement.

Durant períodes de càrrega de treball elevada, com quan s'enfronten a condicions meteorològiques adverses o a fallades en el sistema de l'aeronau, la tripulació és especialment vulnerable a cometre errors si les seves estratègies per gestionar múltiples tasques simultànies no són eficients. En aquest sentit, els pilots han d'estar preparats per canviar ràpidament de focus i adaptar-se a noves exigències. No obstant això, durant períodes de càrrega de treball baixa, com en la fase de creuer, pot sorgir una **altra vulnerabilitat** relacionada amb una baixa vigilància i una possible complaença a causa de la menor demanda d'atenció, la qual cosa pot conduir a errors per distracció o manca de concentració [18].

Períodes de càrrega de treball alta

Existeixen diversos moments al llarg del vol on la càrrega de treball és particularment alta i els pilots han d'estar preparats per gestionar-los de manera efectiva. Alguns d'aquests moments inclouen:

1. Iniciació del motor i empenta, taxi de sortida, enlairament i ascens inicial, així com la **SID** (sortida estàndard per instrument).
2. **Descens, aproximació i aterratge**, especialment quan es realitzen maniobres com el viratge en l'aire.
3. **Situacions poc comunes**, com ara fallades d'equipament o condicions meteorològiques adverses, que exigeixen una adaptació ràpida i efectiva per part de la tripulació.

4. **Situacions d'emergència**, que requereixen una resposta immediata i precisa per garantir la seguretat del vol.

Conseqüències de la càrrega de treball elevada

Quan la tripulació s'enfronta a períodes de càrrega de treball elevada, pot cometre errors de comunicació o de presa de decisions, els quals poden tenir conseqüències molt greus. Alguns dels errors més comuns durant aquests períodes inclouen:

- **Incompliment** de les altituds correctes o “Level Bust”.
- Vol controlat contra el terreny (CFIT, per les seves sigles en anglès).
- **Pèrdua de separació** amb altres aeronaus, la qual cosa podria provocar una col·lisió o una maniobra perillosa.
- **Aproximació no estabilitzada**, la qual cosa augmenta el risc d'accident durant la fase d'aterratge.
- **Distracció del pilot**, la qual pot portar a errors en la gestió de l'aeronau i en la realització de maniobres crítiques.

Estratègies de mitigació i prevenció

Per evitar aquests errors durant els períodes de càrrega de treball elevada, és fonamental implementar certes estratègies de mitigació:

1. Comprovacions entre PF i el PNF: Aquesta **dobla verificació** garanteix que ambdues parts estiguin alineades i que les instruccions siguin correctament enteses.
2. Procediment de lectura-retorn: Això permet que el **ATCO** (controlador de trànsit aeri) verifiqui que el pilot ha rebut i entès correctament el missatge o l'informe.
3. Compliment estricte de la doctrina de la cabina estèril, que minimitza les distraccions durant les fases crítiques del vol.

Escenaris comuns de càrrega de treball alta

Els canvis de procediment o els imprevistos durant els períodes de càrrega de treball alta poden donar lloc a errors si la tripulació no està adequadament preparada. Alguns exemples inclouen:

1. **Canvi de pista** de sortida o d'arribada durant un període de càrrega de treball alta, el que pot portar la tripulació a no seguir el procediment de sortida estàndard per la pista modificada o a no realitzar una volta a l'aire com s'ha prescrit.
2. **Mala interpretació** o pèrdua d'un missatge de l'ATC, el que pot provocar que la tripulació realitzi maniobres incorrectes, com ara agafar una pista equivocada o ascendir més enllà de l'altitud límit.
3. **Interrupcions** durant els procediments crítics a la cabina de vol, la qual cosa pot portar a oblidar accions o verificacions essencials per a la seguretat del vol.

Factors contributius a l'error durant la càrrega de treball alta

La càrrega de treball elevada també es pot veure empitjorada per diversos factors com:

- **Canvis freqüents** de freqüència durant els períodes de càrrega de treball alta, la qual cosa pot generar confusió i distracció de tasques de supervisió importants.
- **Condicions meteorològiques** extremes o fallades d'equipament, que agreugen la situació i dificulten la capacitat de la tripulació per gestionar múltiples tasques simultàniament.

Solucions per manejar la càrrega de treball alta

Existeixen diverses estratègies per mitigar els efectes negatius de la càrrega de treball alta:

- **Pilots:** Començar la preparació per als períodes de càrrega de treball alta tan aviat com sigui possible, anticipant possibles canvis en les autoritzacions. A més, ambdós pilots han de garantir que escolten tots els missatges crítics.
- **ATCOs:** Els controladors han de proporcionar les autoritzacions amb suficient antelació i evitar canvis d'última hora que poden generar la necessitat d'una nova preparació per part dels pilots. A més, els ATCOs han de poder anticipar els períodes de càrrega de treball alta per tal de proporcionar instruccions clares i eficients.

2.2.1. Definició de “workload” i sobrecàrrega cognitiva

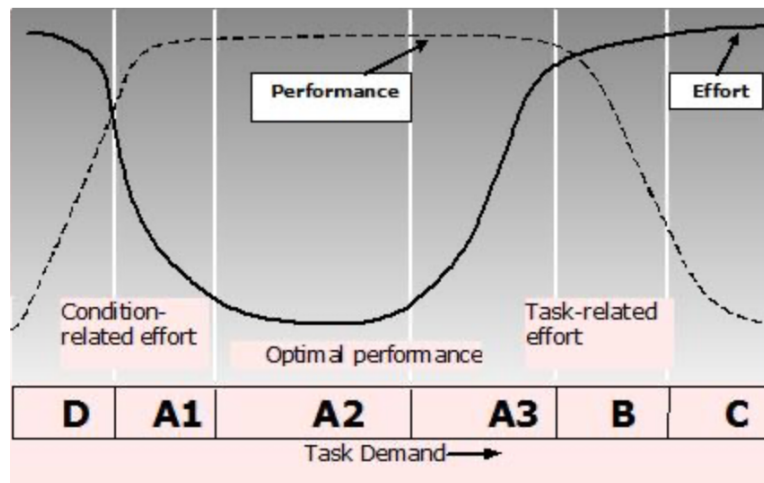
El *workload* es refereix a la quantitat d'**esforç cognitiu i físic** que un individu necessita per completar una tasca en un moment determinat. Aquesta càrrega pot variar considerablement depenent de **diversos factors**, com les condicions del vol, les maniobres realitzades, la pressió temporal i altres elements externs, com condicions meteorològiques adverses o fallades en l'aeronau [19]. Queda clar que es la demanda mental necessària per poder realitzar una tasca que supera els recursos mentals disponibles de l'individu, afectant així el seu el seu rendiment i la seva capacitat per gestionar diverses tasques simultàniament [7]. En contextos d'aviació, aquesta càrrega cognitiva s'intensifica a mesura que **augmenta la velocitat** de l'aeronau i la complexitat de les operacions. En situacions d'alta pressió, com les emergències o les fallades en el sistema, el *workload* pot portar a una disminució de la capacitat de resposta i, per tant, a una disminució de la seguretat operacional. **Eurocontrol** defineix la càrrega de treball com la quantitat de **recursos mentals** que un operador necessita per gestionar diverses tasques, com ara l'atenció, la percepció, la presa de decisions i l'acció. Aquesta càrrega depèn dels recursos humans disponibles, que són limitats. Per tant, si la demanda d'una tasca excedeix la capacitat mental de l'individu, es produeix una **sobrecàrrega cognitiva** [20].

Un estudi sobre pilots d'helicòpter va analitzar com experimenten la càrrega de treball en situacions de vol exigents, mitjançant una metodologia retrospectiva basada en les seves experiències. Els pilots van identificar les tasques més exigents a nivell cognitiu, visual, auditiu, verbal i físic, destacant que les emergències i les **maniobres complexes** són les que **generen més càrrega**. Aquesta càrrega elevada dificulta la presa de decisions ràpides i eficients. L'estudi subratlla la importància d'aplicar contramesures, com sistemes multimodals d'informació, per reduir la càrrega i millorar la seguretat i el rendiment en situacions d'estrès. Els resultats d'aquest estudi tenen implicacions importants per a la formació de **pilots novells**, ja que proporcionen informació valuosa sobre com la percepció del *workload* pot afectar el seu rendiment en entorns de vol complexos. Els **simuladors de vol**, utilitzats en la formació, podrien ser eines útils per mitigar aquests efectes negatius en situacions d'alt risc. Aquestes plataformes permeten als usuaris experimentar situacions d'alta demanda cognitiva i emocional en un entorn controlat, ajudant-los a desenvolupar les habilitats necessàries per gestionar diverses tasques simultàniament i prendre decisions eficients en condicions de pressió [21].

Aquesta sobrecàrrega es pot mesurar com la relació entre els recursos necessaris per completar una tasca i els **recursos disponibles** en aquell moment. A més, cada persona té una capacitat i una manera d'aplicar els seus recursos diferents, la qual cosa fa que l'impacte de la càrrega de treball variï entre individus. Aquests recursos estan influïts per l'experiència prèvia amb la tasca, la formació, els nivells d'habilitat i fins i tot l'estat físic i emocional de l'operador en el moment de realitzar la tasca. No sent una experiència estàtica, i es pot veure afectada per molts factors que poden canviar d'un moment a un altre per la mateixa persona. Aquesta variabilitat humana implica que la càrrega de treball serà diferent per a cada individu i fins i tot pot variar per a la mateixa persona en moments diferents.

L' il·lustració 2 següent mostra la relació entre la demanda de la tasca, el rendiment i l'esforç, segons un model de **Waard** . En la regió **D (Desactivació)**, tot i que la demanda és baixa, el rendiment és pobre perquè l'operador està fatigat o distret. A la regió **A2**, el rendiment és òptim, mentre que a les

regions **A1** i **A3**, l'operador ha de fer més esforç per mantenir el rendiment. Quan la demanda supera la capacitat (regió **B**), el rendiment disminueix, i a la regió **C**, l'operador està sobrecarregat i el rendiment és molt baix. Per millorar-lo, cal reduir la demanda o prioritzar la tasca principal [18].



Il·lustració 2 - Gràfic entre càrrega de treball i performance . Font: Extreta de [18]. Original de Waard,1996.

El gràfic que es mostra a continuació il·lustra la càrrega de treball per domini i destaca les tasques més exigents segons diversos factors, incloent-hi les dimensions cognitives, visuals, auditius, verbals i físiques. Els resultats obtinguts mostren que les tasques amb una major càrrega cognitiva es distribueixen entre diverses àrees de demanda, com les tasques que impliquen el maneig d'informació visual i auditiva simultània, o les que requereixen una alta coordinació física. Aquestes tasques són més exigents en condicions de vol de alta complexitat, com les emergències i la navegació de l'espai aeri. Mostra les tasques millor valorades en cadascun dels dominis avaluats, amb les seves valoracions mitjanes ($\pm$ SD). Les tasques que impliquen una major càrrega cognitiva són aquelles relacionades amb la gestió d'emergències i operacions de vol complexes, com resoldre emergències i realitzar maniobres de combat, que requereixen una atenció extrema i una gestió eficient de diversos canals sensorials i cognitius [19].

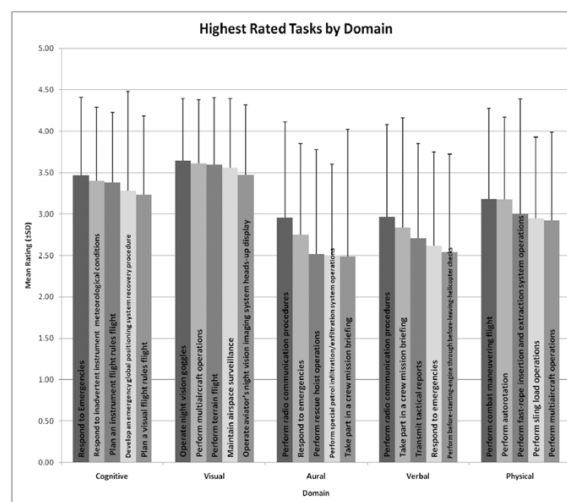


Figure 1. Mean ratings ($\pm$ SD) of highest rated tasks by domain

Il·lustració 3 - Qualificacions mitjanes de les tasques millor qualificades per domini. Font: Extreta de [19].

Seguint amb el mateix estudi el gràfic que es mostra a continuació presenta les tasques més valorades en funció de la seva càrrega cognitiva i la correlació amb l'experiència de vol, amb les següents conclusions:

Domain	Task	<i>r</i>
Cognitive	1032 Perform radio communication procedures	0.25
	1048 Perform fuel management procedures	0.26
	1174 Perform holding procedures	0.26
	1190 Perform hand and arm signals	0.35
	2066 Perform extended range fuel system operations	0.44
	2070 Perform M-139 Volcano operations	
	2076 Perform caving ladder operations	0.71

Il·lustració 4 - Correlacions significatives entre les valoracions de tasques i l'experiència de vol. Font: [19].

A on ens indica tres punts clau:

1. Relació entre experiència i tasques de baixa demanda cognitiva:

- Les tasques com “Perform radio communication procedures” (0.25), “Perform fuel management procedures” (0.26), i “Perform holding procedures” (0.26) mostren una correlació baixa amb l'experiència de vol. Això indica que aquestes tasques són importants però no depenen gaire de l'experiència acumulada del pilot per ser realitzades amb èxit. La capacitat per realitzar aquestes tasques pot estar més relacionada amb la capacitat d'aprendre-les en el procés formatiu inicial, més que amb l'experiència directa de vol. Aquestes tasques poden ser gestionades adequadament fins i tot per pilots amb menys hores de vol.

2. Relació moderada entre experiència i tasques de complexitat mitjana:

- Tasques com “Perform hand and arm signals” (0.35) i “Perform extended range fuel system operations” (0.44) tenen una correlació mitjana amb l'experiència. Això suggereix que els pilots amb més experiència gestionen aquestes tasques de manera més eficient, però la complexitat cognitiva de les mateixes no és tan alta com en altres tasques més especialitzades. Aquestes tasques poden requerir certes habilitats específiques que es milloren amb l'experiència, però no impliquen una càrrega cognitiva excessiva que depengui completament de la pràctica acumulada.

3. Alta correlació entre experiència i tasques d'alta complexitat cognitiva i física:

- “Perform caving ladder operations” (0.71) té la correlació més alta, indicant una forta dependència de l'experiència. Aquesta tasca requereix un alt nivell de coordinació cognitiva i física, la qual cosa implica que els pilots amb més experiència són molt més capaços de gestionar la càrrega cognitiva i física associada amb aquesta tasca complexa. A mesura que els pilots acumulen més hores de vol, adquireixen habilitats específiques per realitzar tasques d'alt nivell que impliquen gran concentració i capacitat per gestionar diverses variables simultàniament, com la coordinació motriu i l'atenció a diversos elements a la vegada.

2.2.2. Factors que influeixen en el rendiment

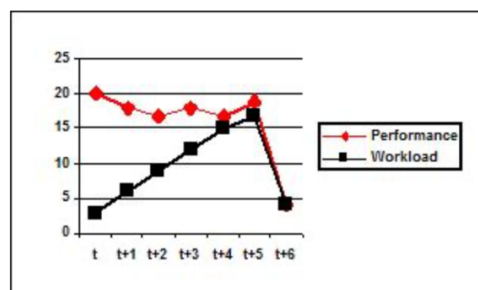
Diversos factors psicològics influeixen directament en la capacitat dels pilots per gestionar la càrrega cognitiva. L'estrès i la fatiga són dos dels factors més destacats que contribueixen y poden provenir de **diversos àmbits**, com el ritme frenètic de les operacions, les emergències o les condicions adverses. L'estrès crònic, en particular, pot tenir un impacte negatiu en la capacitat, afectant aspectes fonamentals com l'atenció i la presa de decisions ràpides, dos elements essencials per mantenir la seguretat en l'aviació [13]. Els pilots sotmesos a estrès elevat poden experimentar dificultats per concentrar-se en les tasques que requereixen un alt nivell d'atenció, fet que pot augmentar el risc d'errors.

En l'estudi titulat "L'estrès en l'alumne de vol", analitza l'impacte de l'estrès en els alumnes de vol, s'identifiquen tant les fonts d'estrès com els efectes que aquest té sobre el rendiment. Mitjançant un enfocament quantitatiu i l'ús de IMDELP (l'Instrument per a Detectar l'Estrès Laboral per a Pilots), es va analitzar una mostra de 36 alumnes d'una escola de pilots. Els resultats van mostrar que els factors d'estrès més rellevants provenien de fonts **extra organitzacionals**, així com de les exigències laborals inherents al treball de pilot. Tot i que els nivells d'estrès eren moderats, es va destacar la importància d'implementar **programes de suport psicològic** i estratègies de gestió de l'estrès dins de la formació de pilots per millorar tant el benestar com el rendiment dels pilots. Aquest estudi subratlla la relació entre l'estrès laboral i la productivitat, un aspecte clau per comprendre com les demandes psicològiques i la càrrega de treball influeixen en el rendiment dels professionals en contextos d'alta pressió [22].

Quan una persona es troba sota **estrès**, la seva resposta fisiològica i psicològica pot activar **mecanismes de defensa** que, inicialment, poden millorar el seu rendiment, ja que l'estrès en petites dosis pot augmentar l'atenció i la concentració. A través de la resposta de "lluita o fugida", l'estrès ajuda a prioritzar les tasques més urgents i activa mecanismes emocionals i cognitius per afrontar situacions difícils. Tanmateix, l'estrès crònic o elevat pot ser danyós. Segons Bombín et al. (2014), un estrès excessiu pot provocar una sobrecàrrega cognitiva, dificultant la capacitat d'analitzar informació de manera eficaç i de prendre decisions raonades. Això pot provocar errors de percepció o decisions incorrectes, la qual cosa augmenta el risc d'incidents en situacions d'alta pressió, com en el vol [23].

La **fatiga** és un altre factor que influeix negativament la presa de decisions. Quan una persona està fatigada, la seva capacitat d'atenció disminueix i els processos cognitius es tornen més lents, la qual cosa compromet la seva capacitat d'identificar i gestionar errors de manera eficient. La fatiga mental pot reduir la capacitat d'anàlisi de noves dades en temps real. Un estudi de Rosa et al. (2020) mostra com els pilots, després de llargs vols, experimenten una disminució de l'atenció sostinguda i un augment de les emocions negatives com l'avorriment. A mesura que la fatiga mental augmenta, el rendiment cognitiu disminueix i la capacitat de prendre decisions eficients en situacions d'alta pressió també es veu afectada [17]. Els resultats mostren que, després de 7 hores de vol, els pilots experimenten una disminució de l'atenció sostinguda i un augment de les emocions negatives com l'avorriment, mentre que les emocions positives disminueixen. Aquestes alteracions emocionals poden dificultar la presa de decisions en situacions de crisi, ja que els pilots han de regular les seves respostes emocionals per mantenir la seva eficàcia en tasques de raonament i presa de decisions complexes.

Un altre factor que influeix en la càrrega de treball és el **temps dedicat a una tasca**. La càrrega de treball no depèn únicament de la demanda de la tasca, sinó també de la durada de l'activitat. El temps invertit en una tasca pot incrementar l'esforç cognitiu i reduir l'eficiència. Segons un informe de la **Flight Safety Foundation**, la càrrega de treball tendeix a augmentar amb el temps, fins i tot quan la demanda de la tasca es manté constant. Aquest augment en la càrrega de treball a mesura que passa el temps pot contribuir a l'esgotament cognitiu, la qual cosa fa més difícil gestionar les tasques de manera eficient [18].



Il·lustració 5 - Gràfic de rendiment teòric de la càrrega de treball en funció del temps, extret de [18]. Original de Andre, 2001.

El **disseny dels sistemes** i la manera en què es distribueixen les tasques entre els membres de la tripulació també poden influir en la mala gestió d'aquest. Un mal disseny de les tasques o una distribució inadequada de les responsabilitats poden provocar errors en el treball en equip, afectant

negativament el rendiment global del sistema. En aquests casos, els pilots poden veure's sobrecarregats amb tasques que podrien ser millor gestionades per altres membres de la tripulació, la qual cosa pot incrementar la càrrega cognitiva i reduir l'eficiència operativa [24].

Per una altra banda, la **motivació aeronàutica** juga un paper fonamental en la gestió de la càrrega cognitiva. El desig intrínsec de voler volar i afrontar els reptes inherents a la professió influeix en la capacitat del pilot per gestionar l'estrès i la càrrega cognitiva associada amb la feina. Un pilot altament motivat tendeix a tenir un millor rendiment en situacions d'alta demanda cognitiva, ja que la seva dedicació i compromís li permeten gestionar millor les pressions associades a la seva tasca [25]. Les emocions tenen també un gran impacte en la qualitat de les decisions, ja que poden alterar el judici racional. Emocions negatives, com l'ansietat o la frustració, poden distorsionar la percepció i la capacitat de raonament de la persona. Quan una persona experimenta emocions intenses, la seva capacitat per mantenir l'objectivitat es redueix, la qual cosa pot provocar una presa de decisions impulsiva o mal informada. En un entorn com el de l'aviació, on la capacitat de mantenir la calma és fonamental, les emocions descontrolades poden desencadenar errors que afecten la seguretat del vol. Per exemple, quan un pilot es troba davant d'una situació d'emergència, les emocions negatives poden augmentar el nivell d'ansietat, desviar la seva atenció i afectar la qualitat de la seva resposta.

L'estudi de McClernon et al. (2011) titulat "*L'entrenament per a l'estrès millora el rendiment dels pilots novells en un vol operatiu estressant*" investiga **l'impacte d'un entrenament per al maneig de l'estrès** en el rendiment de pilots novells durant tasques de vol estressants. Es van assignar 30 participants sense experiència prèvia en vol a dos grups: un que va rebre entrenament en maneig d'estrès i un altre grup de control. Els resultats van mostrar que els participants que van rebre l'entrenament en maneig d'estrès van realitzar el vol de manera més fluida i eficient, tant en les mesures de telemetria de l'avió com en les avaluacions dels instructors de vol. A més, tot i que el nivell d'estrès subjectiu no es va reduir significativament, el grup entrenat va mostrar una millora en l'eficiència del rendiment durant la tasca de vol estressant. Aquest estudi demostra que l'entrenament per a manejar l'estrès en situacions de vol pot millorar el rendiment dels pilots novells [26].

En aquesta línia, un estudi a la Universitat Politècnica de Catalunya destaca que **l'ús del simulador** en assignatures de tecnologia aeroespacial no només permet desenvolupar habilitats tècniques, sinó també millorar la gestió de la càrrega cognitiva i la presa de decisions en escenaris d'estrès. Aquesta aplicació dels simuladors no es limita a aspectes tècnics, sinó que també prepara els pilots per afrontar escenaris emocionals i psicològics complexos [27]. Un element clau per mitigar tots els factors cognitius que intervenen en un pilot alhora de gestionar les tasques, es l'ús de simuladors de vol com a eina d'entrenament. No només per ajudar a millorar habilitats tècniques, si no, per reforçar la seva capacitat per prendre decisions en contextos d'alta demanda cognitiva.

2.2.3. Eines de mesura del workload

La mesura del *workload* en aviació es realitza mitjançant diverses eines i tècniques que proporcionen informació sobre l'impacte de la càrrega cognitiva en els pilots durant les operacions de vol. Aquestes eines inclouen mètodes de mesura de rendiment, valoracions subjectives i mesures fisiològiques, cada una contribuint de manera única a l'anàlisi i la seva influència en el rendiment cognitiu.

1. Mesures de rendiment:

Les eines de mesura de rendiment proporcionen una indicació directa de com el pilot gestiona la càrrega de treball en funció de la seva capacitat per completar tasques en un temps determinat. Aquestes mesures inclouen variables com el temps de resposta, el nombre d'errors o la velocitat de realització de tasques, ajuden a valorar com els pilots realitzen tasques específiques en escenaris de càrrega cognitiva elevada [7]. Les tasques més difícils o amb major demanda cognitiva solen veure un increment en els temps de resposta i errors, el que reflecteix una sobrecàrrega cognitiva.

2. Valoracions subjectives:

Les valoracions subjectives són eines que permeten als pilots avaluar la seva percepció del *workload*. Les més utilitzades en aviació inclouen el **NASA-TLX** i el **SWAT** (Subjective Workload Assessment Technique). Aquestes eines es basen en enquestes on els pilots valoren el seu sentiment de càrrega

cognitiva durant operacions de vol específiques. Aquestes valoracions són útils per obtenir dades qualitatives sobre com els pilots experimenten la càrrega permetent així una comprensió més profunda de les seves percepcions i de com aquestes influeixen la seva capacitat de decisió [28].

3. Mesures fisiològiques:

Les mesures fisiològiques s'utilitzen per analitzar les respostes físiques del cos als factors estressants i la càrrega cognitiva. Instruments com el ratge cardíac i **HRV** (la variabilitat de la freqüència cardíaca) proporcionen dades sobre com el cos respon a l'estrès i a la fatiga, aquestes mesures són essencials per obtenir dades objectives que ajudin a entendre l'impacte de la càrrega cognitiva en el rendiment i la salut dels pilots. Les respostes fisiològiques poden indicar quan un pilot està experimentant nivells de fatiga o estrès que poden interferir amb la seva capacitat per gestionar tasques [22].

4. Instrument per a Detectar l'Estrès Laboral per a Pilots (IMDELP):

Un altre instrument destacat per mesurar el *workload* és **IMDELP** (l'Instrument per a Detectar l'Estrès Laboral per a Pilots), dissenyat específicament per mesurar els nivells d'estrès en el context aeronàutic. Aquesta eina permet identificar els factors estressants que afecten els pilots i com aquests impacten el seu benestar i el seu rendiment [22]. L'ús de l'IMDELP facilita la recollida de dades quantitatives de manera estructurada, la qual cosa ajuda a analitzar les fonts d'estrès i la seva influència sobre la capacitat cognitiva dels pilots. Els resultats poden ser útils per desenvolupar programes de suport psicològic i estratègies per millorar la gestió de l'estrès en la formació i les operacions diàries.

5. Nursing Activities Score (NAS):

Un altre instrument que, tot i que originalment desenvolupat per al sector mèdic, ha demostrat ser útil en altres àmbits, inclòs el de l'aviació, és el **NAS** (Nursing Activities Score). Aquesta eina mesura la càrrega laboral de manera eficient i ha estat identificada com una de les més utilitzades en el context de la medicina. El NAS es pot adaptar per avaluar la càrrega en altres sectors com l'aviació, proporcionant una mesura estandaritzada i quantitativa de la càrrega cognitiva i física.

6. Estudi sobre la dinàmica de presa de decisions:

Finalment, en l'estudi realitzat sobre la dinàmica de presa de decisions dels pilots en simulacions de vol de baixa fidelitat posa en relleu la importància de mesurar tant el rendiment cognitiu com les emocions dels pilots durant missions de vol llargues [17]. L'estudi mostra que les emocions negatives, com l'avorriment, augmenten després de 7 hores de vol, mentre que les emocions positives disminueixen, la qual cosa pot afectar directament la càrrega de treball. Aquest estudi subratlla la necessitat de considerar les emocions i la fatiga emocional com a factors crucials en la mesura del *workload*, ja que els pilots han de gestionar també les seves respostes emocionals per mantenir el seu rendiment cognitiu en tasques de raonament complex.

2.3. Multitasca sota pressió

La capacitat de realitzar múltiples tasques de manera simultània, també coneguda com a *multitasca*, és una habilitat essencial per a professionals en entorns d'alta pressió, com els pilots d'avió. La *multitasca* implica la capacitat de gestionar **diverses tasques** de manera eficient sense perdre el rendiment, i la presa de decisions ràpides i encertades és un element clau en aquest procés. El terme va sorgir de la informàtica i es relaciona al moment en el que el s'executen de forma independent dos processos diferents. Però no deixa de ser la realització de diverses tasques, de forma seqüencial o simultània obtenint resultats en el menor temps possible.

En entorns aeronàutics, els pilots sovint han de realitzar diverses tasques de manera simultània, com controlar l'aeronau, monitoritzar els sistemes i respondre a imprevistos, tot mentre mantenen la calma i prenen decisions ràpides. Tot i això l'estudi del comportament en la multitasca és una àrea amb molta evidència anecdòtica i poca informació sobre la naturalesa del terme.

Tots estem familiaritzats amb situacions quotidianes com conduir un cotxe mentre escoltem música o parlem per telèfon. En aquests moments, estem atents al volant, a les senyals de trànsit, als vianants, als altres vehicles i, fins i tot, podem estar pensant en qüestions completament diferents. Per entendre

què passa en el nostre cervell quan fem diverses tasques a la vegada, cal tenir en compte les **funcions executives**, que estan associades a la còrtex prefrontal i a altres regions com l'àrea parietal del cervell. Aquestes funcions són processos cognitius complexos que ens permeten establir prioritats, organitzar les tasques i assignar-hi els recursos mentals necessaris. Això vol dir que, per percebre, pensar i actuar, les persones depenen d'un conjunt limitat de recursos cognitius que han de ser regulats a través del control mental executiu, és a dir, una supervisió interna que gestiona com i en quina mesura es fan servir aquests recursos.

Hamilton (2009) indica que les persones no poden realitzar diverses tasques de **manera òptima**, no ens podem concentrar en més d'una cosa a la vegada però sí canviar el nostre enfocament en grans velocitats. Amb el raonament de que el cervell no pot resoldre dos tasques a la vegada en les que son similars i competeixen per utilitzar la mateixa part del cervell. A on Dzubak(2008) afegeix que canviar d'una tasca a una altra, requereix més temps, ja que treballen diferents parts del cervell i els circuits neuronals son necessaris per processar cada activitat per separat. Influint en l'atenció i concentració, sent mes fàcil que ens sentim cansats i desorientats després d'inclús un període de temps mes curts. Esgotant els mecanismes cerebrals de manera cognitiva i fisica, elevant també hormones del estrès com el cortisol, i conseqüentment augmentat els valors d'adrenalina en el que pot causar un estimulant excessiu, pensaments confusos i nebulosos o comportaments agressius e impulsius [29]. Amb l'augment de l'automatització i la quantitat d'**informació** disponible a la cabina, els pilots han de gestionar múltiples tasques simultàniament, fet que pot provocar una **càrrega mental elevada**. Aquesta càrrega no prové de l'esforç físic, sinó de la **demanda cognitiva**, i pot derivar en **errors de gestió** o en l'**omissió d'informació vital**, especialment quan es produeix el fenomen del **túnel cognitiu**, és a dir, centrar-se massa temps en un sol canal d'informació oblidant la resta. Per aquest motiu, és fonamental entrenar la gestió de múltiples tasques per reduir aquest risc. [12].

Per tant, avaluar la càrrega mental dels pilots durant la multitasca és fer una predicció de la probabilitat de deteriorament del rendiment en la interacció de la persona amb l'aeronau, que no podem observar directament. L'avaluació d'aquest rendiment es divideix en **tasques primàries i secundàries**. Com a primària es la tasca amb prioritat de processament quan l'operador necessita completar diverses tasques alhora. En la tasca secundària, s'utilitzen mètodes de mesura fisiològica per avaluar-la, ja que no es pot observar en precisió amb un únic índex perquè els factors individuals i ambientals afecten també al esforç mental per realitzar la tasca determinada.

L'estudi de Bombín et al. (2014) va demostrar que la **gestió de l'estrès** en entorns multitasca es pot millorar mitjançant l'entrenament de **funcions executives** com la planificació, la flexibilitat i l'auto monitorització. La **introducció progressiva de tasques complexes** va permetre reduir les reaccions emocionals negatives i millorar la tolerància a la **càrrega cognitiva**. A més, es va observar que les **emocions positives** afavorien el rendiment, mentre que les negatives el dificultaven. L'entrenament de la flexibilitat cognitiva es va identificar com una habilitat clau per adaptar-se a situacions canviants i gestionar l'estrès en entorns d'alta exigència, com l'aviació. [23].

2.3.1. Entrenament cognitiu i presa de decisions

L'entrenament cognitiu i la presa de decisions estan profundament interrelacionats, ja que un entrenament adequat pot millorar de manera substancial la capacitat d'un individu per prendre decisions eficients en situacions complexes. La **memòria de treball** és crucial en la presa de decisions, ja que els individus han de mantenir múltiples peces d'informació a la ment simultàniament i actualitzar-les constantment mentre prenen decisions. Aquesta capacitat és essencial, per exemple, quan un individu ha de considerar diverses variables abans de prendre una decisió en una situació d'incertesa o en què les condicions estan canviant ràpidament. La capacitat de mantenir i manipular informació en la ment mentre es prenen decisions és fonamental per evitar la sobrecàrrega informativa, millorant així la qualitat de les decisions i reduint els errors derivats de la distracció o la falta de concentració.

La **planificació** és una altra habilitat cognitiva fonamental per a la presa de decisions. Quan un individu es troba davant d'una situació complexa, és essencial que pugui establir una estratègia per

abordar el problema. La capacitat de planificar ajuda a identificar els passos necessaris per aconseguir un objectiu i permet valorar les opcions disponibles. Aquest procés de planificació és especialment rellevant en situacions d'alta pressió, on una resposta ràpida és necessària, però també cal una visió clara del resultat final. A l'aviació, per exemple, la planificació eficient pot marcar la diferència en la gestió de l'estrès i la seguretat operacional.

El **raonament** juga un paper central en la presa de decisions. En situacions complexes, el raonament permet a l'individu analitzar les possibles conseqüències de les seves decisions i preveure els resultats a llarg termini. Així, l'entrenament cognitiu en raonament millora la capacitat d'anàlisi, permetent prendre decisions informades basades en la causa i efecte, i no només en la intuïció. Els pilots, per exemple, poden utilitzar el raonament per avaluar diferents escenaris possibles davant una emergència, prenent la millor decisió basada en l'evidència disponible i en l'experiència prèvia.

Un altre aspecte essencial per a una presa de decisions eficaç és la **flexibilitat cognitiva**, que fa referència a la capacitat de canviar de tàctica o d'estratègia en funció de les noves dades disponibles o quan les condicions es modifiquen. Aquesta flexibilitat és crucial, ja que sovint en situacions d'estrès o emergència, les condicions poden canviar dràsticament. Un bon procés de presa de decisions ha de ser capaç d'adaptar-se ràpidament a aquests canvis, cosa que és habitual en l'aviació, on les condicions de vol poden variar en qüestió de minuts.

L'entrenament cognitiu ajuda a millorar aquestes habilitats mitjançant l'exposició repetida a escenaris complexos que desafien aquestes capacitats. Quan es practica la presa de decisions en entorns controlats però realistes, com els simuladors, els individus poden experimentar una gran varietat de situacions, algunes d'imprevisibles, que els obliguen a utilitzar aquestes habilitats cognitives en temps real. A través de la retroalimentació immediata proporcionada durant aquests entrenaments, les persones poden identificar els seus errors i aprendre'n ràpidament, millorant la seva capacitat de prendre decisions en el futur. Això és fonamental en la formació de pilots, ja que els permeten simular condicions de vol d'alta complexitat i alt estrès, millorant el seu rendiment i la seva capacitat de resposta [23].

2.4. Simulació com a eina formativa

La simulació de vol ha demostrat ser una eina formativa essencial en la preparació de pilots i en l'ensenyament de l'Enginyeria Aeronàutica, ja que permet als estudiants aplicar de manera pràctica els coneixements teòrics adquirits a les aules. Un dels exemples més destacats es troba a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), on els estudiants utilitzen **simuladors de vol** com a **part de les pràctiques de laboratori**. Els alumnes comencen amb aeronaus senzilles com la Cessna 172 i progressen fins a aeronaus de gran complexitat com l'Airbus A320. Aquest procés formatiu ofereix un entorn d'aprenentatge que facilita la comprensió de procediments anòmals i d'emergència, així com la familiarització amb els sistemes complexos de les aeronaus modernes, tot dins d'un entorn de simulació de trànsit aeri en temps real [27].

En línia amb aquest enfocament, els simuladors de vol s'han convertit també en **eines didàctiques** valuoses a la Escola de Aviació Policial (ESAVI). Els simuladors permeten als estudiants millorar les seves competències pràctiques mitjançant la repetició de maniobres i escenaris que inclouen falles mecàniques, errors humans i condicions extremes, tot en un ambient controlat. Aquesta metodologia no només millora les habilitats operatives, sinó que també augmenta la seguretat operativa, ja que proporciona una experiència d'aprenentatge immersiva i repetitiva sense els costos ni els riscos associats als vols reals. Els simuladors permeten als estudiants afrontar situacions complexes i d'estrès sense posar en perill la seguretat, preparant-los per gestionar situacions d'emergència de manera efectiva [30].

A l'ESAVI, l'ús de dispositius com l'IVAO, el Bell 206 BIII, la Cessna 172 i l'Air Tractor AT-802 ha estat adaptat per satisfer les necessitats específiques de la institució. Aquest model formatiu permet als estudiants practicar una **àmplia gamma de maniobres i procediments**, millorant la seva capacitat per gestionar situacions d'estrès i prendre decisions en condicions de pressió. A més, Saastamoinen &

Maunula (2021) subratllen que el cost relativament baix de la formació en simuladors, en comparació amb els vols reals, augmenta la rendibilitat i permet als estudiants repetir maniobres de manera il·limitada, afavorint un aprenentatge profund i efectiu [31].

A més, l'estudi de Socha et al. (2016) sobre **l'entrenament de pilots utilitzant simuladors** de vol posa en evidència com aquest tipus de formació pot millorar la precisió en les maniobres dels pilots en formació. En aquest estudi, 35 pilots estudiants van completar hores de simulador de vol i vols reals, realitzant maniobres específiques com girs de 180° amb canvis en la velocitat vertical i l'angle de banc. Els resultats mostren que la precisió en les maniobres millora al llarg del temps en el simulador, però quan es passa al vol real, els errors es van incrementar significativament. Tot i això, en els vols reals, la precisió es va estabilitzar després d'un parell de sessions, suggerint que els simuladors poden ser efectius per millorar la capacitat dels pilots per realitzar maniobres amb alta precisió en condicions controlades [32].

2.4.1. Introducció històrica a la simulació de vol

Els simuladors de vol han evolucionat significativament des dels seus inicis, convertint-se en una eina fonamental per a la formació de pilots. Tal com assenyala Villamil Rico et al. (2018), els primers simuladors van aparèixer després dels avenços pioners de l'aviació, com el vol històric de Orville i Wilbur Wright el 1903. A mesura que l'aviació es va desenvolupar, també ho van fer les tècniques i eines per entrenar els pilots de manera més segura i eficaç. Inicialment, la formació es realitzava amb avions reals, on els pilots passaven per una sèrie d'exercicis pràctics fins a assolir un aprenentatge complet. No obstant això, la necessitat de crear un entorn segur per entrenar pilots va conduir al desenvolupament dels primers simuladors de vol, que van permetre recrear escenaris de vol sense els perills associats al vol real [33].

Un dels primers exemples de simuladors de vol va ser el *Sanders "Teacher"*, creat el 1910, que va ser dissenyat per proporcionar una **representació visual** de les condicions de vol sense posar en perill la seguretat del pilot. Aquest dispositiu inicial, construït amb components reals d'aeronaus, va evolucionar cap a sistemes més sofisticats com el *Link Trainer*, desenvolupat per Edwin Link entre 1927 i 1929, que reproduïa una cabina d'avió tancada i permetia l'entrenament de pilots en condicions de seguretat, facilitant la pràctica de maniobres i procediments sense exposició a riscos reals. Aquest dispositiu va permetre als pilots entrenar-se de manera immersiva i segura, recreant els moviments de l'aeronau en un entorn controlat. El *Link Trainer* va ser un element clau en el desenvolupament de la simulació dins de l'aviació comercial i va ser adoptat per aerolínies com American Airlines [34].

Des de la invenció del Link Trainer, la tecnologia de simulació de vol ha experimentat una evolució significativa. Actualment, el mercat ofereix sistemes **d'alt realisme**, que inclouen des de simuladors amb cabines físiques i pantalles panoràmiques per a la recreació de diversos escenaris aerodinàmics, fins a solucions basades en aplicacions mòbils i plataformes de realitat virtual immersiva, tant en l'àmbit del programari com del maquinari.

2.4.2. Tipus de simuladors

Els simuladors de vol són dispositius dissenyats per recrear entorns de vol realistes, aquests simuladors poden ser de moviment o estàtics i varien en la seva sofisticació, des de models més simples fins a simuladors de sis graus de llibertat que reproduïen els moviments complexos d'una aeronau en vol. Es descriuen els simuladors de vol com eines essencials per desenvolupar habilitats de presa de decisions i gestió de tasques múltiples sota condicions d'estrès [33].

Els **FFS** (simuladors de vol complets) representen el tipus més avançat, incloent moviment, visualització i un sistema d'entrenament realista que pot simular situacions de vol reals amb un alt grau de fidelitat. Aquests simuladors permeten recrear escenaris d'emergència i decisions en condicions d'alta pressió sense els perills associats al vol real. Els simuladors FFS poden tenir fins a sis graus de llibertat, oferint una experiència immersiva i de gran realisme que és fonamental per a la

formació de pilots. Com destaca la **FAA** (Federal Aviation Administration), els simuladors FFS estan classificats en quatre nivells (A, B, C i D) segons el grau de fidelitat i capacitat de simulació:

- **Nivell A:** Simuladors amb tres graus de llibertat, ideals per a maniobres bàsiques.
- **Nivell B:** Inclou tres eixos de moviment i una modelització més detallada, utilitzats per a entrenaments més avançats.
- **Nivell C:** Simuladors amb sis graus de llibertat i visualització avançada, que permeten entrenar escenaris complexos amb condicions meteorològiques dinàmiques.
- **Nivell D:** El nivell més alt, amb un sistema visual de 150 graus, ideal per entrenar pilots en situacions d'emergència extremadament exigents.

Els simuladors de Nivell C i Nivell D són especialment útils per a la formació avançada, ja que permeten als pilots practicar la gestió de tasques múltiples i prendre decisions ràpides en entorns d'alta pressió. Com indiquen Villamil Rico et al. (2018), aquests simuladors són essencials per al desenvolupament de competències cognitives, com la gestió de la *multitasca* i la presa de decisions en situacions crítiques.

D'altra banda, els **FTD** (dispositius de formació de vol) representen una versió més senzilla dels simuladors FFS. Tot i que no inclouen moviment, els FTD ofereixen un entrenament valuós per a maniobres i procediments més simples, com la navegació i la comunicació aeronàutica. Aquests dispositius són útils per entrenar pilots en situacions menys complexes i són comunament utilitzats en les primeres etapes de la formació.

Finalment, els **ATD** (dispositius de formació d'aviació) són els més bàsics. Aquests simuladors no tenen moviment, però simulen els controls físics d'una aeronau real. Els ATD són útils per entrenar habilitats bàsiques, com el maneig de sistemes i procediments de vol, especialment per a pilots en formació inicial.

2.4.3. Arquitectura d'un simulador de vol

Els **FFS** (simuladors de vol complets) són considerats els més sofisticats en la indústria. Inclouen capacitats de moviment i visualització que imiten de manera fidel les característiques aerodinàmiques d'un avió real. Els simuladors de Nivell D, per exemple, disposen d'un sistema de moviment de 6 graus de llibertat i un sistema visual que pot tenir un camp horitzontal de fins a 150 graus, permetent als pilots entrenar-se en condicions extremes i situacions d'alt risc, com canvis meteorològics dinàmics o emergències de falles mecàniques. Aquesta capacitat de replicar escenaris de vol realista és crucial per desenvolupar habilitats de multitasca i presa de decisions ràpides en entorns d'alta pressió [33].

Els simuladors de vol complets integren diversos components clau, com la cabina del simulador, que reproduceix el panell de comandaments de l'aeronau amb instruments de vol, navegació i motor. Els principals components de la cabina inclouen:

- **Instrumentació de vol:** com el velocímetre, l'altímetre, el coordinador de viratge, i altres indicadors essencials per al vol.
- **Instrumentació de navegació:** inclou els indicadors de rumb i els sistemes de localització com els VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range).
- **Instrumentació del motor:** com els indicadors de pressió d'oli, temperatura d'oli i pressió de combustible, que són fonamentals per al manteniment i control de l'aeronau.

Aquests instruments proporcionen una retroalimentació immediata sobre les decisions del pilot, permetent una simulació realista de condicions meteorològiques i situacions d'emergència. Aquestes característiques són essencials per a l'entrenament de pilots, ja que els ajuden a gestionar múltiples tasques simultàniament i a prendre decisions ràpides sota pressió, tal com s'observa en els entrenaments amb simuladors de vol [34].

El programari de simulació utilitzat en aquests dispositius és clau per crear un **entorn virtual realista**. Alguns dels motors de simulació més utilitzats inclouen Microsoft Flight Simulator i X-Plane, els

quals utilitzen càlculs aerodinàmics precisos per simular el vol de les aeronaus, incloent-hi el flux d'aire sobre les superfícies de vol. X-Plane, per exemple, ha estat certificat per la FAA per a l'entrenament de pilots en condicions de vol instrumentals, fet que el fa especialment adequat per a entrenaments d'alta precisió. A més, inclouen sistemes de **retroalimentació** que permeten als instructors monitoritzar el rendiment dels pilots i **ajustar els paràmetres** de l'entrenament en temps real.

D'altra banda, els simuladors de vol complets han estat desenvolupats seguint estrictes normatives internacionals, establertes per organismes com la **OACI** (Organització d'Aviació Civil Internacional), **EASA** (Agència Europea de Seguretat Aèria) i la **FAA** (Administració Federal d'Aviació dels EUA). Aquestes normatives defineixen els requisits tècnics per a la certificació dels simuladors, assegurant que compleixin els estàndards de seguretat i eficàcia necessaris per a l'entrenament de pilots [31].

2.4.4. Realisme i transferència de coneixement

Els simuladors de vol han experimentat una evolució notable en els últims anys, amb una millora substancial en el realisme i la transferència de coneixement, factors essencials en la formació de pilots. Els avenços tecnològics, com les millores en la fidelitat gràfica, els sistemes de control avançats, i la integració de VR (realitat virtual), han transformat aquests simuladors en eines poderoses tant per a l'entrenament de pilots professionals com per als aficionats a l'aviació.

Una de les millores més destacades ha estat la qualitat dels gràfics. Els simuladors moderns ofereixen entorns virtuals altament detallats i realistes, gràcies a l'ús de tecnologies de renderitzat avançades i bases de dades geogràfiques d'alta resolució [35]. Aquestes millores han augmentat la representació visual dels escenaris de vol, la qual cosa permet als pilots experimentar condicions de vol gairebé **idèntiques a les del vol real** i a on diversos estudis, han demostrat que l'entrenament en simuladors amb gràfics realistes millora la capacitat dels pilots per gestionar emergències en condicions de baixa visibilitat i turbulències [32] [36].

A més, els sistemes de control han millorat significativament gràcies a la integració de tecnologia de **retroalimentació hàptica**, que permet als usuaris sentir les forces com la resistència de l'aire i les vibracions de l'avió, replicant de manera més precisa les forces experimentades en un vol real. Aquests avenços en la tecnologia de retroalimentació proporcionen una experiència de simulació més immersiva i ajuden els pilots a sentir el vol de manera més realista, millorant la seva capacitat per gestionar el control de l'avió en diferents condicions. Aquest tipus de retroalimentació enriqueix enormement l'experiència de formació, contribuint així a la transferència de coneixement, ja que els pilots poden aplicar les habilitats adquirides en simuladors en vols reals [35].

La VR també ha estat una de les innovacions més revolucionàries en el camp de la simulació de vol. Gràcies a les ulleres VR, els usuaris poden submergir-se completament en un entorn de vol de 360 graus, simulant tant la cabina de l'avió com l'espai aeri al seu voltant, millorant considerablement el realisme de l'entrenament. Aquesta immersió total permet als pilots practicar en entorns que repliquen la realitat amb **gran precisió**, millorant així les seves habilitats i facilitant la transferència de coneixement entre el simulador i el vol real (Rumbo Aeronáutico, 2023). A més, la tecnologia VR no només millora el realisme de l'experiència de vol, sinó que també augmenta la retenció de les habilitats apreses, ajudant els pilots a recordar millor els procediments d'emergència i maniobres complexes [17].

Els simuladors de vol també s'utilitzen en el desenvolupament d'aeronaus i en la formació contínua de pilots professionals. Segons Aviation Group (2023), els simuladors permeten als enginyers provar dissenys i configuracions abans de construir prototips físics, així com practicar procediments d'emergència en un entorn controlat. Aquests simuladors són imprescindibles per a l'entrenament de pilots comercials i militars, ja que poden simular escenaris d'emergència i condicions meteorològiques adverses, millorant la capacitat dels pilots per afrontar situacions crítiques sense els perills associats als vols reals. Els avenços en intel·ligència artificial també han millorat els simuladors, permetent escenaris de formació més complexos i adaptatius que desafien les habilitats de presa de decisions dels pilots en situacions extremes [35].

Tot i aquests grans avenços, encara existeixen desafiaments en la replicació total de les **forces G** i la sensació de **moviment real** que els pilots experimenten en els vols. Els simuladors de vol actuals encara no poden reproduir completament aquestes forces, [32]. Tanmateix, la recerca contínua en sistemes de moviment i realitat augmentada indica que aquests obstacles es poden superar en el futur proper, millorant així encara més la transferència de coneixement i l'eficàcia de l'entrenament.

2.4.5. Avantatges i limitacions de la simulació

Els simuladors de vol són una **eina molt útil** en la formació de pilots, ja que no només serveixen per aprendre a controlar l'aeronau, sinó que també ajuden a desenvolupar altres habilitats importants com la presa de decisions, el treball en equip i la gestió de situacions crítiques. Durant l'entrenament, els estudiants poden practicar com actuar davant d'emergències, com falles mecàniques o elèctriques, sense posar-se en risc, cosa que fa que el seu aprenentatge sigui més segur i efectiu [30].

Els simuladors de vol també **fomenten la col·laboració** entre alumnes d'altres escoles o països, millorant la qualitat de la formació i ajudant a complir amb els estàndards acadèmics establerts pel Ministeri d'Educació Nacional (2020). Aquesta capacitat de treballar en entorns simulats compartits és fonamental per crear un esperit de col·laboració global i integrar-se en xarxes d'aprenentatge més àmplies, augmentant així les oportunitats d'intercanvi de coneixement i experiències.

Els **jocs de simulació** són una forma molt útil d'aprendre, ja que permeten als estudiants prendre decisions i veure'n les conseqüències en un entorn segur. Això els ajuda a entendre millor què han fet bé o malament i aprendre de l'experiència. En el cas dels pilots, és especialment útil per practicar situacions d'estrès i gestionar diverses tasques simultànies, dues coses molt importants en el vol real. A través d'aquesta experiència immersiva, els pilots poden adquirir habilitats que després podran aplicar en situacions d'emergència o en vols de gran pressió [37].

A més, el realisme dels simuladors és clau perquè l'entrenament sigui efectiu. Si el simulador reproduceix de manera acurada com es comporta realment un avió —els moviments, la meteorologia, les reaccions de l'aeronau—, és més fàcil que les habilitats que es practiquen allà es puguin aplicar després en **situacions reals** [33]. Aquest realisme és fonamental per al procés d'adaptació i d'aprenentatge progressiu dels pilots, especialment per als més joves, que poden practicar i guanyar confiança en un entorn controlat abans de passar a vols reals. Per als **pilots més joves**, aquest tipus d'entrenament és molt positiu perquè poden guanyar confiança, millorar la seva capacitat per prendre decisions ràpides sota pressió i reduir els errors. Tot aquest entrenament ajuda a preparar-los millor per a la realitat del vol, però d'una manera més segura i progressiva, permetent-los familiaritzar-se amb escenaris que podrien ser difícils de recrear en un vol real [34].

Tot i els grans avantatges de la simulació, cal destacar algunes limitacions. Encara que els simuladors permeten una pràctica segura i repetitiva, les sensacions físiques com les forces G o el moviment real de l'aeronau no es poden replicar completament. Això pot **limitar l'experiència d'entrenament** en certs aspectes de la percepció física del vol. A més, la capacitat de transferir les habilitats apreses en simuladors a vol real depèn en gran mesura de la qualitat del simulador i de la fidelitat de l'entorn simulat. És possible que algunes respostes a situacions d'estrès o emergència en un vol real no es puguin replicar exactament en el simulador [32]. Tanmateix, aquests reptes tècnics continuen sent objecte d'investigació, i s'esperen avenços en el futur proper per millorar la fidelitat d'aquestes simulacions.

2.5. Transferència d'habilitats des de la simulació a altres àmbits

La simulació de vol no només entrena les habilitats tècniques específiques dels pilots, sinó que també desenvolupa **habilitats transversals** com la gestió de l'estrès i la presa de decisions ràpides, que són essencials en sectors tan diversos com la medicina, la seguretat o l'àmbit militar. Aquests entorns comparteixen característiques amb l'aviació, com la necessitat de mantenir la calma davant situacions crítiques i la capacitat de gestionar informació simultània de manera eficient. Aquestes habilitats,

entrenades en simuladors de vol, poden ser extrapolades amb èxit a altres àrees on es requereix una resposta immediata i ben coordinada [13].

Martinussen i Hunter (2017) van investigar l'ús dels simuladors en la formació de pilots, conclouent que aquestes eines són útils per entrenar respostes cognitives sota pressió. Tanmateix, la seva aplicació no es limita a l'aviació, sinó que pot ser transferida a altres camps professionals, com la medicina d'emergència o la gestió de desastres, on la capacitat de mantenir el control en situacions extremes és crucial per a la seguretat de les persones implicades [38].

En línia amb aquest enfocament, Prats Menéndez (2002) a la UPC va explorar com els simuladors de vol no només milloraven les competències tècniques dels estudiants en tecnologia aeroespacial, sinó que també afavorien habilitats de treball en equip, col·laboració i resolució de problemes en temps real. Aquestes competències són altament transferibles a altres professions on les condicions de pressió i la coordinació són igualment determinants, com la gestió de projectes complexos o la resolució d'incidències urgents en diversos sectors [27].

Un altre exemple és l'estudi de Vargas Galván, Díaz Figueroa i Chaparro Alvarado (2021) a l'ESAVI, que va demostrar que els simuladors permeten als pilots policials practicar escenaris d'emergència extrema, com falles elèctriques o mecàniques, en entorns segurs. Aquest tipus d'entrenament no només millora la capacitat d'intervenció dels pilots, sinó que també permet transferir aquestes habilitats a altres sectors, com la medicina d'emergències o la gestió de crisi, on la presa de decisions ràpides pot tenir un impacte directe en la seguretat de les persones [31].

Montalvo et al. (2021) també defensen el valor dels simuladors per millorar la capacitat de processar decisions múltiples sota condicions estressants, una habilitat clau en camps on la pressió és constant, com la gestió d'incidències o els serveis sanitaris d'urgència. La flexibilitat cognitiva i la capacitat d'adaptació són habilitats clau que es perfeccionen mitjançant l'entrenament amb simuladors, i que són absolutament fonamentals per a professions que impliquen la gestió de situacions d'alt risc [34].

L'estudi de Douglas i McMichael (2022) sobre l'efecte dels videojocs en el rendiment dels pilots novells en simuladors de vol proporciona una evidència interessant sobre la transferència d'habilitats adquirides en activitats de simulació, com els videojocs, a entorns reals de formació. Els resultats mostren que els participants amb experiència en videojocs van millorar significativament les seves habilitats cognitives i la seva capacitat de concentració, aplicant-les amb èxit en el context d'un simulador de vol, suggereix que la simulació en videojocs pot ser valuosa no només per a l'entrenament tècnic, sinó també per millorar habilitats cognitives essencials per a la seguretat aèria [39].

Finalment, Urgilés-Quintuña et al. (2020) van aplicar la metodologia de simulació en l'àmbit mèdic per entrenar professionals en situacions d'emergències, com atacs cardíacs o accidents greus, demostrant que els simuladors també poden ser útils per preparar equips mèdics a gestionar emergències de manera eficient i coordinada. Aquest tipus d'entrenament és transferible a altres àmbits d'alt risc on les habilitats d'adaptabilitat i resiliència són fonamentals per afrontar crisis amb èxit [40].

2.5.1. Entrenament d'habilitats transversals mitjançant simulació

A més de la seva aplicació en la formació d'experts en camps d'alta pressió com l'aviació, els simuladors de vol també són una eina valuosa per al desenvolupament **d'habilitats transversals** que poden ser aplicades en altres àmbits professionals i educatius. Un exemple rellevant és la seva aplicació en el camp educatiu.

A Finlàndia, les **escoles secundàries** han començat a utilitzar simuladors de vol per ajudar els estudiants a millorar la seva gestió del temps, presa de decisions ràpides i multitasca. Aquest tipus de simulació permet als estudiants practicar la gestió d'estrès i aprendre a gestionar múltiples tasques de manera simultània, habilitats que són fonamentals tant per a la seva formació acadèmica com per a la

seva futura carrera professional. Els estudiants aprenen a gestionar la pressió i a prendre decisions en entorns de simulació que simulen situacions reals d'alt risc [9].

Els simuladors de vol també tenen aplicacions en el món empresarial. Empreses com Google utilitzen simuladors per **entrenar els seus equips** en la gestió d'emergències corporatives i pressió alta. "Jigsaw" —la incubadora tecnològica de Google— ha desenvolupat *Trainer*, una plataforma de realitat virtual concebuda per entrenar la gestió d'escenaris d'alta tensió. Tot i que s'ha aplicat principalment a contextos policials, el sistema reproduïx situacions de conflicte amb resposta dinàmica i permet practicar tècniques de comunicació, autocontrol i presa de decisions ràpida sota pressió. Aquest tipus de simulació immersiva, basada en els mateixos principis que els simuladors de vol, és perfectament **extrapolable al món empresarial**. Qui sap si en un futur no poden ser els mateixos simuladors de vol els que s'adaptin per oferir aquest tipus d'entrenament corporatiu, aprofitant el seu realisme i versatilitat [41].

Un altra exemple es com el VA (Departament d'Afers de Veterans dels Estats Units per millorar la seguretat en la prescripció de medicaments, va implementar una eina, coneguda com a *flight simulator*, simula **EHR** (l'entorn d'un sistema d'història clínica electrònica) per avaluar com respon davant d'escenaris clínics de risc, com al·lèrgies, interaccions entre fàrmacs o dosis excessives. Permet detectar errors potencials sense posar pacients reals en perill i ajuda a entrenar els professionals en presa de decisions sota pressió. Més de 2.100 hospitals als EUA han adoptat aquest simulador, i estudis recents han demostrat que la seva utilització incrementa notablement la capacitat dels sistemes per prevenir errors de medicació [42].

L'estudi *Predicting Workload in Virtual Flight Simulations using EEG Features* analitza com predir la càrrega cognitiva en simuladors de vol mitjançant **EEG** (senyals elèctriques generades per l'activitat neuronal del cervell), en entorns de realitat virtual. Mitjançant dades de 52 participants, es van comparar característiques espectrals tradicionals amb noves mesures de connectivitat cerebral. Els resultats mostren que combinar ambdues millora la precisió predictiva en un 28 %, destacant el potencial d'integrar interfícies cervell-ordinador (BCI) en sistemes de formació adaptatius. Aquesta tecnologia permetria ajustar els escenaris d'entrenament segons el nivell de càrrega mental, millorant el rendiment i la seguretat en entorns operatius crítics [43].

Un altre estudi, titulat *Differentiating Workload using Pilot's Stick Input in a Virtual Reality Flight Task*, explora una via alternativa per mesurar la càrrega cognitiva dels pilots durant simulacions de vol en realitat virtual. En aquest cas, es va analitzar el comportament de la palanca de control (*stick input*) de sis pilots militars novells mentre realitzaven maniobres de canvi de velocitat, amb i sense una tasca auditiva addicional (com en els tests multitasca utilitzats) per induir diferents nivells de workload. Els investigadors van introduir **PIW** (l'indicador *Pilot Inceptor Workload*) i van demostrar que els moviments longitudinals del *stick* eren predictius de la càrrega mental. Tot i que PIW podria ser una mesura específica segons el tipus de tasca, l'estudi aporta una tècnica de detectar el workload [44].

2.6. Simulació i comportament en joves

La motivació influeix directament en la capacitat per realitzar tasques complexes i gestionar la càrrega cognitiva, que pot veure's afectada per l'ansietat i l'estrès. En l'aviació, el manteniment de la motivació i la capacitat per afrontar les emocions en situacions d'alta pressió és essencial per al rendiment i el benestar psicològic dels pilots.

Segons la Llei de Yerkes-Dodson (1908), una **ansietat moderada pot millorar el rendiment**, però un excés d'estrès pot tenir efectes perjudicials en la capacitat de concentració i presa de decisions. Aquest concepte és crucial en la formació de pilots, ja que els simuladors de vol permeten als joves aprendre a gestionar les seves emocions en situacions d'alta pressió, sense posar en risc el seu benestar físic i psicològic. Els simuladors ofereixen un entorn segur en el qual els estudiants poden afrontar escenaris d'estrès realista, millorant així les seves habilitats cognitives i emocionals a través de la

motivació intrínseca, és a dir, el desig de voler aprendre i dominar noves habilitats, sense la pressió directa dels vols reals [13].

En termes de memòria de treball, l'impacte d'aquesta es deteriora a mesura que ens fem grans, a on el rendiment de les tasques cognitives es veu més afectat en adults grans que en adults joves. Un estudi, Clapp, Sabharwal y Gazzaley en 2010, en la que van investigar els dèficits en les xarxes cerebrals funcionals en la memòria de treball després de la multitasca. Després d'interrupcions, els dos grups desvinculaven la xarxa que ens relaciona amb el mantenir la memòria i s'enfocaven al estímul interruptor. Tot i que el rendiment dels adults grans després d'interrupcions no podia tornar a desenganxar-se i restablir les connexions funcionals associades amb la xarxa de memòria prèviament interrompuda [29].

Pel que fa a la motivació intrínseca, que en aquest context està vinculada al **desig genuí de voler volar** i dominar les habilitats aeronàutiques, és una força motivacional poderosa per als joves que no tenen experiència prèvia en aviació. Leimann (2010) assenyala que aquesta motivació **facilita l'aprenentatge** d'habilitats crítiques com la presa de decisions ràpides i la multitasca en situacions d'estrès. Els simuladors de vol ofereixen als joves una oportunitat única per desenvolupar aquestes habilitats, permetent que la motivació intrínseca es converteixi en un motor important per millorar el seu rendiment cognitiu i psicològic, alhora que afavoreix la transferència d'aquestes habilitats a altres àmbits educatius i professionals [45].

2.6.1. Impacte emocional de l'experiència de simulació

Quan un participant es troba immers en un entorn de simulació, les emocions que es generen, com l'ansietat, l'excitació o la frustració, són reals i tenen un impacte directe en la manera com interactuen amb el sistema i prenen decisions. Per exemple, en un simulador de vol, els pilots poden experimentar un nivell de pressió emocional similar al d'un vol real, el que els obliga no només a gestionar la càrrega cognitiva, sinó també el **desafiament emocional** de la situació. En aquest context, la gestió emocional durant el procés de simulació té un gran impacte en el desenvolupament de competències emocionals, com la resiliència i l'autoavaluació. A mesura que els participants són exposats a escenaris on les emocions influeixen les seves decisions, aprenen a regular-les i a utilitzar-les a favor seu per millorar la seva capacitat de prendre decisions en situacions de pressió.

Diversos estudis i aplicacions pràctiques han demostrat l'impacte emocional de la simulació en diferents àmbits. Un exemple clar d'això és el programa pioner de **CardioClinics**, on els professionals de la salut entrenen en simuladors per afrontar situacions d'alta pressió. Segons un estudi de CardioClinics (2022), els residents de cardiologia que utilitzen simuladors per practicar situacions d'emergència mèdica reporten una millora emocional significativa en el seu nivell de confiança. Això els permet gestionar millor l'estrès emocional i afrontar les emergències amb més calma i eficàcia. Aquesta confiança adquirida durant l'entrenament ajuda els participants a prendre decisions més ràpides i precises quan es troben amb pacients en entorns reals [46].

A més, el portal SimZine (2022) destaca que l'experiència emocional en simulacions pot ser també negativa quan es genera ansietat o estrès excessiu. Tanmateix, l'entrenament continuat en un entorn de simulació permet als individus adaptar-se millor a aquestes emocions negatives, **aprenent a regular-les** i convertir-les en una font de motivació i aprenentatge. La simulació, per tant, no només fa que els participants aprenguin habilitats tècniques, sinó que els proporciona una plataforma per exposar-se a emocions fortes i aprendre a gestionar-les de manera efectiva [47].

Finalment, l'estudi de Simulació com a **metodologia educativa** (2020) subratlla com la simulació millora l'**autoestima i la confiança emocional** dels participants a través de la repetició i la superació d'escenaris desafiants. Els participants, enfrontant-se a escenaris que imiten situacions reals, poden experimentar una gran varietat d'emocions, com l'ansietat o la frustració, però també la satisfacció i l'èxit quan aconsegueixen superar els reptes. Aquest procés contribueix a la millora de la seva resiliència emocional i la capacitat d'afrontar escenaris imprevistos amb més confiança i estabilitat emocional [48].

3. MARC METODOLÒGIC

3.1. Tipus d'investigació

L'estudi es planteja com una investigació aplicada amb un disseny pre-post simulació, basat en la recollida de dades tant quantitatives com qualitatives per avaluar l'impacte de l'entrenament en simuladors de vol en la capacitat dels participants per gestionar múltiples tasques simultàniament i prendre decisions ràpides sota pressió. Aquest disseny permet observar els canvis en les habilitats cognitives dels participants abans i després de l'exposició a la simulació, alhora que explora les seves percepcions emocionals i l'autoavaluació de la seva capacitat per gestionar diverses tasques.

3.1.1. Disseny pre-post simulació

S'ha volgut seleccionar el millor mètode, inclinant-se per un disseny pre-post simulació que integri diversos enfocaments empírics d'estudis independents per a cada part de l'experiment. Trobem molta informació sobre la multitasca, també sobre simuladors de vol i tests cognitius que s'han utilitzat per avaluar habilitats com la memòria operativa, la gestió d'estrès o la presa de decisions ràpides en contextos de pressió. Tot i la gran quantitat d'estudis existents en aquests àmbits, no hi ha cap estudi que integri tots aquests elements de manera conjunta, com es planteja en aquest treball. Així, el disseny proposat busca oferir una visió nova i global sobre com els simuladors de vol poden afectar la capacitat cognitiva i les respostes emocionals dels participants. Per tant, aquest estudi no només busca aprofundir en cadascun d'aquests aspectes per separat, sinó també explorar com la seva interacció pot influir en el rendiment global dels participants davant d'entorns simulats.

El disseny de la fase experimental s'ha basat amb l'objectiu d'avaluar no només les capacitats cognitives dels participants en el context de la multitasca, sinó també com se senten i com perceben el seu rendiment i les seves emocions abans i després de la simulació. Aquesta estructura permet mesurar tant els canvis en les habilitats cognitives com la valoració subjectiva de l'experiència en el simulador, per obtenir una visió completa de la resposta dels participants davant de situacions de pressió i multitasca.

Un aspecte clau de la recerca és entendre com els participants valoren la seva pròpia capacitat per gestionar múltiples tasques i prendre decisions sota pressió. Les preguntes qualitatives en el pre-test i post-test permeten recollir informació sobre les percepcions de la seva pròpia confiança en aquestes habilitats. Això permet mesurar l'evolució en la motivació intrínseca i la confiança dels participants abans i després de les sessions en el simulador. Aquestes respostes proporcionen una mesura subjectiva però objectivable de com l'entrenament en simuladors afecta l'autopercepció dels participants sobre la seva capacitat per gestionar múltiples tasques i prendre decisions ràpides en situacions d'alta exigència.

En primera instància, es vol avaluar la memòria operativa i la capacitat de retenció d'informació visual. Per això, els participants realitzaran un exercici en què hauran de comparar i memoritzar figures i colors que apareixen en un vídeo. Aquesta tasca serà útil per mesurar la seva capacitat per mantenir i actualitzar la informació de manera temporal.

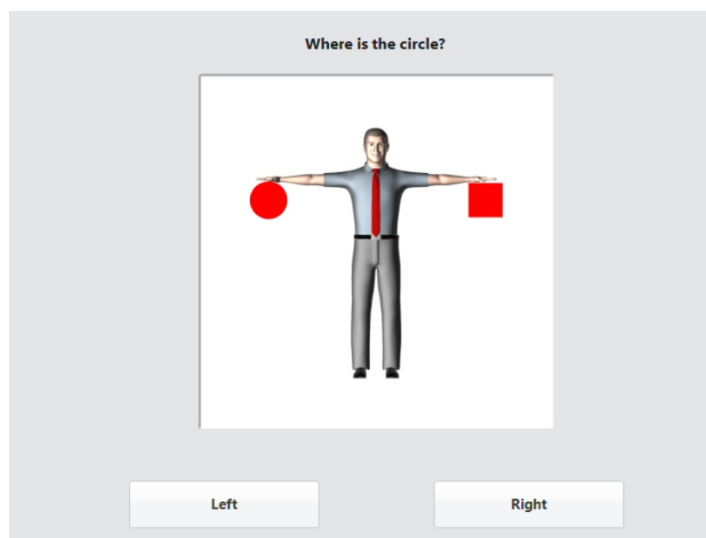
L'exercici està fonamentat en la teoria de la memòria de treball (Baddeley, 2003), que sosté que la memòria operativa és crucial per emmagatzemar i manipular informació de manera temporal mentre es realitzen múltiples tasques [49]. En aquest cas, els participants han de memoritzar diversos colors i figures i comparar-les amb les versions modificades més tard, el que implica una tasca d'actualització de la memòria en temps real. Això és similar a la tasca que realitzen els pilots quan han de adaptar-se a canvis inesperats (com canvis en les alertes d'instruments o condicions de vol) mentre gestionen altres tasques simultànies. Aquesta tasca també proporciona una mesura objectiva de la capacitat

d'actualització de la informació visual. Segons Dux et al. (2009), actualitzar informació visual en el sistema de memòria operativa és crucial quan es requereix prendre decisions ràpides sota condicions de multitasca.

Una part essencial d'aquest disseny és comprendre com es senten els participants mentre realitzen aquests exercicis. Les respostes emocionals són un component fonamental per entendre com la multitasca i les situacions de pressió afecten els individus. Per això, el disseny inclou preguntes qualitatives sobre l'estrès, la motivació i la confiança dels participants abans i després de la simulació.

També és un mètode molt utilitzat en les proves de selecció de pilots i controladors aeris. Un exemple clàssic d'aquest tipus de prova és el Test de Memòria Visual de Figures i Colors, utilitzat en diverses forces aèries i escoles d'aviació com la United States Air Force (USAF) [50]. En aquest test, els candidats han de memoritzar una seqüència de figures i colors que apareixen breument a la pantalla. Després, han de reconèixer les figures i els colors quan es presenten de nou, però en un ordre diferent. Aquest exercici simula el que succeeix en l'entorn de vol, on els pilots han de recordar una gran varietat d'indicacions visuals (com les llums d'avertència, els indicadors del panell, etc.) i comparar-les amb situacions prèvies per poder prendre decisions correctes i ràpides davant de situacions canviants.

En el cas dels controladors aeris, aquests han de ser capaços de gestionar simultàniament una gran quantitat d'informació visual, com la informació de radar, les senyals de trànsit aeri i les alertes de seguretat. Un exercici comú utilitzat en la selecció de controladors aeris és el de memoritzar una seqüència de colors i formes que apareixen a la pantalla, representant diversos objectes o esdeveniments en el radar. Aquest tipus de tasca avaluarà la capacitat dels candidats per retenir la informació visual i per realitzar comparacions ràpides quan aquesta informació canviï o es presenti de nou, una habilitat essencial per a la gestió eficaç del trànsit aeri i la seguretat operativa en un entorn de treball altament dinàmic.



Il·lustració 6 – Prova SkyTest, “ATCO - Controlador de trànsit aeri,” Font: Disponible a <https://www.skytest.com/ATCO-Air-Traffic-Controller.htm>

3.1.2. Enfocament quantitatiu i qualitatiu

Aquest estudi utilitza principalment un enfocament qualitatiu per avaluar l'impacte de les sessions de simulador en la capacitat dels participants per gestionar diverses tasques simultàniament i prendre decisions ràpides sota pressió. Tot i que també es recolliran dades quantitatives, l'èmfasi està en les experiències subjectives i les percepcions personals dels participants, ja que permeten comprendre millor com les emocions influeixen en el rendiment.

L'enfocament qualitatiu permet explorar les percepcions dels participants sobre les seves habilitats i la seva experiència emocional davant tasques complexes. A través d'entrevistes semi-estructurades i enquestes, es capturen les seves opinions sobre la seva gestió emocional, confiança i motivació abans i després de les sessions. Tot i que també es recolliran dades com el temps de resposta i les respostes correctes en tasques específiques, com la memòria visual i la presa de decisions ràpides. Aquestes dades permeten mesurar l'eficàcia cognitiva dels participants abans i després de la simulació, oferint una base objectiva per comparar els resultats.

L'enfocament mixt proporciona una visió completa, combinant dades quantitatives amb qualitatives ajudant-nos a entendre com els participants gestionen situacions complexes, no només a través de les seves habilitats cognitives, sinó també pel que fa a les seves emocions i confiança, permetent avaluar com un simulador pot ser una eina eficaç per aquestes habilitats.

3.2. Participants

Es va optar per un grup amb perfils diversos que incloïa participants experimentats, amb més o menys experiència i també sense cap experiència prèvia en aviació. La gran majoria d'ells eren joves, a excepció dels més experimentats, que aportaven una perspectiva més consolidada en el camp de l'aviació. Un dels aspectes més rellevants va ser que cap dels participants tenia experiència prèvia en l'ús d'un simulador específic del model A320, el qual és àmpliament utilitzat en l'entrenament de pilots. Això va permetre estudiar com els participants, independentment del seu nivell d'experiència en aviació, van gestionar les tasques, la càrrega cognitiva, la multitasca i l'estrès en un simulador completament desconegut per a ells. Es va poder observar la seva capacitat d'adaptació a un entorn de simulació d'alta pressió, així com la seva eficiència en l'ús de la tecnologia en un context de vol realista, amb la intenció d'analitzar els canvis en les seves habilitats cognitives i de multitasca després de l'entrenament amb el simulador.

3.2.1. Grups de comparació

Els participants no van ser diferenciats per sexe, ja que tots eren homes. Tanmateix, per establir comparacions significatives, es van segmentar segons altres variables rellevants com les hores de vol acumulades, l'edat i l'experiència prèvia. Els grups es van dividir en funció del seu nivell d'experiència en aviació, amb un grup d'experts amb més hores de vol i experiència consolidada, un grup intermedi amb alguna experiència prèvia, i un grup de novells sense cap experiència prèvia en simuladors de vol.

Aquest enfocament va permetre analitzar les diferències en la capacitat de multitasca i la gestió de la càrrega cognitiva entre individus amb diferents nivells d'experiència, establint així un conjunt de comparacions que faciliten una avaluació més precisa dels efectes de la simulació sobre els participants. Les variables com l'edat també es van tenir en compte, ja que poden influir en la capacitat d'adaptació a noves tecnologies i en la manera com els participants gestionen situacions d'estrès. L'objectiu d'aquesta diferenciació era observar com el nivell d'experiència, l'edat i les hores de vol influeixen en la seva capacitat per gestionar múltiples tasques sota pressió en l'entorn simulatiu.

3.3. Materials i eines

3.3.1. Descripció de l'empresa Hangar 10

Hangar 10 és un centre de simuladors de vol situat a l'Aeroclub de Sabadell, dins del Hub Aeronàutic de Sabadell. Especialitzat en l'entrenament de pilots i entusiastes de l'aviació, l'empresa ofereix una formació mitjançant simuladors d'última generació, que recreen amb precisió el comportament d'aeronaus comercials com el Boeing 737 i l'Airbus A320. Aquests simuladors avançats permeten experimentar escenaris de vol realistes en condicions controlades, cobrint des de procediments

estàndard fins a situacions d'emergència i condicions meteorològiques adverses. Hangar 10 és considerat un referent en la formació aeronàutica a Espanya i Europa, atraient tant a professionals en actiu com a aficionats que busquen una experiència immersiva en el món de l'aviació.

Hangar 10 ofereix una àmplia gamma de serveis orientats a la formació i perfeccionament de pilots, professionals de l'aviació i aficionats al sector. Gràcies a les seves instal·lacions d'última generació, incloent-hi simuladors de vol avançats i aules totalment equipades, la companyia proporciona un entorn òptim per a l'aprenentatge i el desenvolupament de competències aeronàutiques.

Els principals serveis que ofereix són:

- Preparació per a assessments, formacions específiques i proves d'accés a companyies aèries:

Hangar 10 dissenya programes personalitzats per ajudar els aspirants a superar els processos de selecció de les aerolínies. Aquests entrenaments inclouen la preparació per a proves tècniques, psicològiques i de simulador, oferint als candidats les eines necessàries per afrontar amb èxit aquestes avaluacions. Entrenament per a SIM ASSESSMENT de pilots en actiu, amb programes especialitzats en procediments avançats i situacions no estàndard, garantint un rendiment òptim en avaluacions tècniques. Els programes de preparació per a assessments inclouen la preparació de cabina, standard callouts, briefings d'enlairament i aproximació, així com la gestió de fallades de motor, aproximacions instrumentals, maniobres de go-around, resposta a alertes TCAS, windshear i operacions en condicions CAT II-III. A més, els pilots es capaciten en la correcta aplicació dels procediments ECAM, garantint un alt nivell de competència tècnica. Aquest entrenament, dissenyat amb escenaris realistes i desafiaments en condicions crítiques, permet als pilots desenvolupar les seves habilitats amb precisió i confiança. Les formacions personalitzades dissenyades específicament per ajudar els professionals a preparar-se per a proves corporatives o certificacions obligatòries, així com a reforçar habilitats tècniques que millorin el currículum i els diferenciïn com a professionals. Els programes també estan orientats a facilitar la superació d'auditories tècniques i proves de manteniment, així com a desenvolupar competències específiques segons els requisits de la companyia o el tipus d'aeronau en què treballin.

- Millora d'habilitats i competències amb simuladors de vol d'última generació:

La companyia disposa de simuladors Boeing 737 i Airbus A320 a escala real, que permeten recrear amb gran precisió escenaris de vol realistes, incloent-hi condicions meteorològiques adverses, fallades tècniques i procediments d'emergència. Aquest recurs és fonamental tant per a pilots en formació com per a professionals que necessiten mantenir o perfeccionar les seves habilitats.

- Desenvolupament de programes de formació per a professionals de l'aviació:

Hangar 10 compta amb aules totalment equipades per impartir formació teòrica i pràctica adaptada a pilots, tripulants de cabina (TCP) i altres professionals del sector. Els cursos estan dissenyats per abordar tant els aspectes tècnics de l'aviació com la gestió de situacions crítiques i la presa de decisions en entorns d'alta pressió.

- Organització d'esdeveniments i presentacions del sector aeronàutic:

L'empresa ofereix espais versàtils i moderns per a la celebració de conferències, seminaris, esdeveniments corporatius i presentacions relacionades amb la indústria aeronàutica. Aquest servei és dirigit tant a empreses del sector com a institucions acadèmiques i professionals.

- Experiències immersives per a aficionats a l'aviació, i això permet a qualsevol persona viure l'emoció de pilotar un avió comercial en un entorn de simulació d'alta fidelitat.

Amb aquesta oferta de serveis, Hangar 10 s'ha consolidat com un referent en la formació aeronàutica, proporcionant eines essencials per al desenvolupament professional de pilots i altres especialistes del sector. La combinació de tecnologia avançada, un equip docent altament qualificat i una metodologia

innovadora permet a l'empresa oferir una formació d'alta qualitat, adaptada a les necessitats específiques de cada usuari.

3.3.2. Descripció dels simuladors a Hangar 10

A Hangar 10 tenen dos tipus de simuladors tant de Airbus 320 com de Boeing 737. Entre els entrenaments més rellevants es troben:

- **Preparació de cabina:** organitzar la cabina i verificar els procediments abans de l'enlairament.
- **Standard callouts:** entrenament en les crides estàndard durant les diferents fases del vol.
- **Briefings d'enlairament i aproximació:** preparar i realitzar briefings per assegurar-se que tots els procediments es compleixin de manera eficaç.
- **Fallos de motor:** gestionar situacions d'emergència com la fallada de motor durant el vol.
- **Aproximacions instrumentals:** practicar aproximacions precisas utilitzant només els instruments de vol.
- **Go around:** gestionar una maniobra de go around amb èxit quan sigui necessari.
- **TCAS:** entrenar en la gestió del sistema de col·lisió de trànsit (TCAS) per evitar conflictes aeris.
- **Windshear:** simular i respondre a canvis bruscos en la velocitat del vent que poden afectar el vol.
- **CAT II-III:** entrenar en aproximacions en condicions meteorològiques extremes, com les que es donen en aproximacions de categoria II i III.
- **Procediments ECAM:** gestionar emergències i anomalies dels sistemes mitjançant l'ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitoring).

3.1.2.1 Simulador Boeing 737

El simulador de Boeing està dissenyat per replicar amb precisió l'operativa d'una de les aeronaus més utilitzades de l'aviació comercial, seguint una filosofia de vol més tradicional. Els pilots entrenen amb un sistema de control manual que requereix una major intervenció directa en la gestió dels procediments, com la preparació de cabina i el maneig de fallades de motor. Amb software autoritzat per Boeing i llicències actualitzades, dissenyat amb el potencial per ser aprovat com a FTD (Flight Training Device), aquest simulador permet realitzar entrenament tècnic. Permet practicar procediments manuals, com l'ajust de flaps i la gestió d'emergències, sent ideal per a aquells que busquen perfeccionar les seves habilitats en operacions més controlades i amb una major interacció directa amb els sistemes de vol.

3.1.2.1 Simulador Airbus 320

El simulador d'Airbus A320 ofereix una experiència d'entrenament d'altíssim realisme, amb un 99% de precisió en comparació amb els dispositius oficials emprats per Airbus per a la formació dels seus pilots. Dissenyat per replicar a la perfecció la cabina i els sistemes operatius de l'A320. La interfície realista i el nivell d'automatització elevat permeten a les tripulacions practicar no només procediments estàndard, sinó també situacions d'alta pressió que poden ocórrer en vol. A causa de la seva gran automatització i realisme, serà l'utilitzat per a elaborar l'estudi.

Com a característiques principals del A320:

- Reproducció exacta de la cabina d'un A320, amb tots els sistemes funcionals.
- Capacitat per simular múltiples escenaris d'emergència.
- Registre de dades detallades sobre l'actuació del pilot, incloent-hi temps de resposta, decisions preses i gestió dels sistemes.
- Diferents configuracions segons els estàndards de les aerolínies, i això permet adaptar els entrenaments a les exigències de cada companyia (per exemple, Vueling i Volotea tenen criteris específics d'avaluació).

El simulador d'**Airbus A320** reproduceix fidelment la cabina de l'aeronau, incloent-hi:

- Cockpit funcional complet amb sistemes EFIS (Electronic Flight Instrument System) i ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitor).
- Sistema Fly-by-wire que controla electrònicament la resposta de l'aeronau segons les ordres del pilot.
- Autothrust (A/THR) i AutoPilot (AP) per gestionar automàticament la velocitat i trajectòria del vol.
- Sistema IOS (Instructor Operating Station), que permet modificar les condicions del vol i introduir fallades en temps real per avaluar la resposta del pilot.

Aquest simulador permet la recreació de múltiples escenaris operatius i d'emergència, incloent-hi:

1. Fallo de motor en l'enlairament (abans o després de V1).
2. Des pressurització de cabina i ús de màscares d'oxigen (pròximament).
3. Emergències de foc en motor o tren d'aterratge.
4. Fallades en sistemes hidràulics i elèctrics.
5. Conflictes de trànsit aeri i respostes a TCAS (Traffic Collision Avoidance System).
6. Procediments d'aproximació ILS i aterratge amb condicions adverses.

3.3.3. Escales d'avaluació

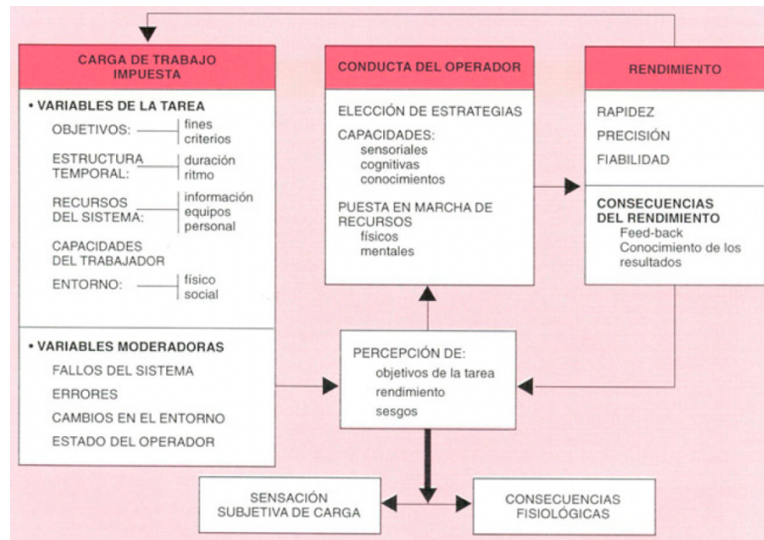
Els mètodes de valoració escollits són complementaris entre si ja que cap mesura és vàlida per si sola per avaluar els factors òptims en la multitasca, com són la càrrega mental, la capacitat de resposta en temps limitat, la gestió simultània de múltiples tasques i la percepció emocional dels participants en situacions de pressió. Per això, la utilització de diferents mètodes i la comparació dels resultats obtinguts és la millor manera de poder arribar a una conclusió significativa. Cada mètode aporta una perspectiva única i permet avaluar els aspectes emocionals, cognitius i físics que influeixen en la capacitat de gestionar tasques múltiples. Els mètodes d'avaluació subjectiva són molt utilitzats per avaluar la càrrega de treball i la percepció emocional, i aquests resultats són contrastats amb altres indicadors de comportament. A diferència d'altres mètodes objectius, els subjectius tenen l'avantatge de no ser intrusius, ja que poden realitzar-se una vegada la tasca ha finalitzat, permetent als participants reflexionar sobre la seva experiència i la seva percepció.

El mètode NASA TLX

És un procediment de valoració multidimensional que ens dona una puntuació global de la càrrega de treball, basada en una mitjana de les puntuacions en sis sub-escales. El seu valor es troba en poder aïllar de forma empírica i poder definir els factors més rellevants en l'experiència subjectiva de la càrrega de treball.

Parteix de la hipòtesi de que el concepte de càrrega de treball es un concepte hipotètic que representa el cost que suposa per el component humà aconseguir un determinat nivell de rendiment. Aquesta definició no pot definir-se únicament en valors d'exigència de la tasca, si no que es producte d'una combinació de factors en els que la càrrega manté especial importància. Tot i que cada persona pot tenir un concepte diferent de càrrega (alguns la relacionen amb el ritme, altres amb la quantitat o la complexitat). Però aquest mètode, partint d'aquests criteris, estableix la necessitat de aconseguir unes fonts de càrrega i en segon lloc també estableix la valoració d'aquests mateixos. Amb l'objectiu d'aconseguir una escala sensible a les variacions a dins i entre les tasques, amb una capacitat de diagnòstic sobre les fonts de càrrega i més insensible a les variacions interpersonals. Així que la

carrega no es una característica inherent a la tasca sinó que es el resultat de la interacció entre requeriments de la tasca (les circumstàncies amb les que es desenvolupa, les capacitats, conductes i percepcions del treballador).



Il·lustració 7- Diagrama NASA TLX, marc teòric. Font: Extreta de NTP 544 - Estimació de la càrrega mental de treball, el mètode NASA TLX, Institut Nacional de Seguretat i Salut en el Treball (INSHT), 1999.

Aquestes sis sub-escales es refereixen a:

Dimensió de Demanda	Descripció
1.Exigències mentals	Activitat mental i perceptiva. Mesurant l'esforç mental que requereix la tasca, la capacitat del participant per gestionar la càrrega cognitiva.
2.Exigències físiques	Grau d'esforç físic que el participant ha de realitzar per completar la tasca.
3.Exigències temporals	Sensació de pressió temporal. Mesura si el participant ha sentit que la tasca ha de ser realitzada en un temps limitat o amb pressió.
4.Rendiment	Grau de compliment dels objectius.
5.Esforç	Quantitat del esforç físic i mental, mesurant la percepció en aconseguir els objectius de la tasca i si el participant considera que la tasca ha estat realitzada amb eficàcia.
6.Nivell de frustració	Avalua com les emocions com l'estrès, la frustració o la inseguretat han afectat al participant durant l'execució de la tasca.

Taula 1- Dimensions de valoració NASA TLX. Font: Elaboració pròpia.

En les que d'aquestes variables hi ha tres referides a les demandes imposades de la persona (mentals, físiques i temporals) i altres tres que es refereixen a la interacció de la persona amb la tasca (esforç, frustració i rendiment).

Un dels avantatges clau del NASA-TLX és la seva capacitat per aïllar de manera empírica i definir els factors més rellevants de l'experiència subjectiva de la càrrega de treball. Això permet identificar de manera clara les àrees de millora i també proporciona dades que poden ser comparades abans i després de la simulació per mesurar l'impacte de l'entrenament en la gestió de la multitasca.

3.4. Justificació fases de l'estudi experimental

L'estudi es divideix en tres fases principals orientades a mesurar la millora en la multitasca i la presa de decisions com a resultat de l'exposició progressiva a situacions simulades. Aquestes fases inclouen eines d'avaluació diverses per garantir una visió àmplia i imparcial del rendiment dels participants.

Per altra banda, abans de començar la fase experimental, es va a dur a terme una recollida inicial de dades sociodemogràfiques de cada participant, amb l'objectiu de comprendre millor el perfil de la mostra i analitzar si hi ha diferències significatives entre grups. Així, poder interpretar millor els resultats, identificar correlacions i entendre el context en què es produeix l'aprenentatge.

Aquesta valoració inclou:

- ⇒ Edat
- ⇒ Sexe
- ⇒ Procedència geogràfica
- ⇒ Estudis actuals o formació prèvia
- ⇒ Hores de vol
- ⇒ Experiència prèvia amb simuladors o entorns similars
- ⇒ Nivell percebut d'habilitats tecnològiques i digitals

Dades recollides al començament del full de respostes en el que els participants han de marcar els resultats del vídeo multitasking test.

Identificatiu Participant:	Data:
Sexe	
Procedència geogràfica	
Estudis actuals o formació prèvia	
Experiència prèvia amb simuladors o entorns similars	
Nivell percebut d'habilitats tecnològiques i digitals	

Il·lustració 8 - Test de Multitasking: Formulari d'Avaluació del Participant". Font: Elaboració pròpia.

3.4.1. Pre-simulació

En aquesta fase inicial es busca obtenir una línia base del rendiment cognitiu i conductual dels participants. Per això, es duen a terme tres proves diferenciades.

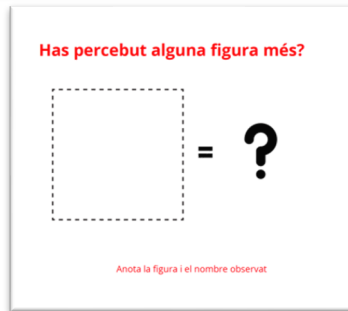
3.4.1.1 Prova 1 – Joc de multitasking

Una activitat interactiva que simula un entorn de presa de decisions ràpida i accions simultànies. Permet mesurar la coordinació, la rapidesa, la capacitat de canvi de tasca i la gestió del temps en un format proper i intuïtiu. Seguint amb aquesta línia s'ha elaborat un vídeo on s'exploren els models d'atenció visual, com el model del focus de llum (spotlight) i el model del lent de zoom, per explicar com funciona l'atenció humana, així com els efectes de la multitasking sobre la nostra capacitat de processament.

En **la primera part**, han de calcular mentalment el nombre de dues figures que apareixen per pantalla. A on de manera induïda també apareix una altra figura diferent a aquestes en la mateixa pantalla. Els participants al final del exercici han de determinar el nombre de figures marcades prèviament (cercles i creus) i determinar si han percebut una altra diferent a les marcades (estrelles). Cada exercici ha estat pautat amb una fulla de respostes que marca cada una de les parts, i podien respondre-la un cop s'indiqués en el vídeo.



Il·lustració 9- Exercici 1 Multitasca: Comptabilització de X vermelles i O blaus. Font: Elaboració pròpia.



Il·lustració 10 - Exercici 1 Multitasca: Comptabilització percepció d'estrelles. Font: Elaboració pròpia.

Aquesta teoria es contrasta amb els models d'atenció visual i el concepte de multitasca per analitzar com la capacitat d'atenció dels participants es veu afectada per la necessitat de processar simultàniament diferents estímuls visuals.

1. Model del focus de llum (spotlight model): Segons aquest model, l'atenció es comporta com un focus de llum que es centra en un punt específic. Quan els participants han de comptar dues figures diferents (per exemple, X i O), el seu focus atencional es dirigeix cap a aquests objectes específics. En el moment que una altra figura (per exemple, una estrella) apareix a la pantalla, aquesta figura es col·loca fora del punt focal, en la franja o fins i tot en la marge de l'atenció. Tot i que és visible, la seva percepció es veurà atenuada pel fet que l'atenció es manté focalitzada en les figures inicials (X i O). Això és un reflex dels costos de la multitasca, on l'atenció es divideix entre més d'una tasca i, com a resultat, els participants tenen més dificultats per notar altres canvis en l'entorn. Aquest model suggereix que la nostra visió funciona com un focus de llum, amb un punt focal on tot està completament clar i enfocat. Al voltant d'aquest focus hi ha una zona anomenada “fringe” (borde), que és menys nítida, i fora d'aquest bord hi ha la “marge”, on no veiem res clarament. El model sosté que el punt d'enfocament és on processem la informació de manera més eficient.

2. Model del lent de zoom (zoom lens model): Aquest model amplia el model del focus d'atenció, suggerint que podem augmentar la mida del nostre punt focal, però a costa de perdre claredat en la informació que processem. Com més ampliem la nostra atenció a diverses coses, més es redueix la capacitat de processar-les totes de manera eficient. Per exemple, si estàs mirant un cartell al parc, el focus és el cartell, el bord són les flors al voltant i la marge és la gent caminant. Si intentes prestar atenció a tot, l'atenció que li dones al cartell es veu afectada.

Quan els participants han de comptar dues figures a la vegada, la seva atenció s'expandeix per cobrir totes dues figures, però a mesura que l'atenció es distribueix entre elles, es redueix la qualitat del processament de cadascuna. Quan s'introdueix una nova figura (l'estrella), l'atenció s'ha de redirigir cap a ella per ser processada, però com que l'atenció ja està distribuïda entre les dues primeres figures, aquesta nova figura pot quedar parcialment ignorada o processada de manera superficial. Això confirma com l'expansió de l'atenció (per incloure més elements) comporta una reducció de la capacitat per percebre tots els estímuls de manera igualment nítida.

3. Multitasca i costos cognitius: El vídeo il·lustra també com el cervell humà, tot i ser capaç de canviar l'atenció d'una tasca a una altra, no pot processar dues tasques complexes alhora de manera eficient. Això es coneix com a costos de la multitasca. En aquest exercici, els participants estan intentant realitzar dues tasques cognitives al mateix temps: comptar X i O i detectar si hi ha una figura diferent. Aquesta distribució de l'atenció entre dues tasques fa que els participants experimentin disminució de

la velocitat de processament i un augment dels errors. A més, l'efecte de ceguesa per inatenció pot ser observat en aquells participants que no noten l'estrella perquè la seva atenció està dirigida principalment a les figures marcades.

Com a resultat d'aquest exercici, es preveu que molts participants no detectin el nombre exacte de figura no determinada, ja que l'atenció no s'ha pogut desviar suficientment cap a aquest element per percebre'l clarament. Això ajuda a confirmar la teoria de l'atenció selectiva i els límits de la multitasca, mostrant com la nostra atenció es veu restringida quan intentem realitzar diverses tasques cognitives a la vegada.

L'experiment demostra com els processos cognitius es veuen afectats pel fet de dividir l'atenció entre múltiples estímuls visuals i per la incapacitat de mantenir un enfocament clar sobre totes les tasques simultànies i que per aquest motiu ha de ser practicat.

⇒ S'ha puntuat tenint en compte el nombre total de cada figura percebuda i el nombre total que hauria de ser. En aquest cas, hi ha 13 creus i 11 rodones. Per calcular la puntuació de cada figura, s'han sumat les respostes correctes de cada tipus de figura, i aquesta suma s'ha multiplicat per 100 per obtenir el percentatge de respostes correctes. Pel que fa a la part de l'estrella, es fan dues preguntes: primer, si l'estrella ha estat percebuda (50% de puntuació si la resposta és afirmativa); i segon, si l'estrella ha estat percebuda correctament amb el nombre exacte (en aquest cas, 3). Si el participant ha encertat el nombre, s'afegeix un 50% més a la puntuació total.

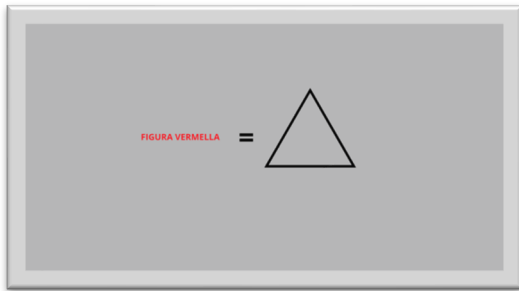
En la **segona part del vídeo**, seguint amb la teoria de Baddeley (2003) [49], i basant-me directament en les proves que existeixen per practicar les FEAST (*Fatigue and Stress Test*) en els controladors aeris, s'han creat una sèrie d'escenaris a on el participant ha d'anar memoritzant restriccions a mesura que la situació va canviant. Es tracta d'un exercici interactiu dissenyat per avaluar l'atenció visual i auditiva, així com la capacitat de memòria de treball i la flexibilitat cognitiva dels participants.

Els participants han d'associar figures i colors a instruccions específiques, com en l'exemple mostrat amb un triangle blau i un cercle vermell. El participant ha de recordar que les figures roges sempre seran triangles i identificar correctament les figures que apareixen en la pantalla. Aquest tipus d'exercici permet mesurar la capacitat dels participants per memoritzar i processar informació visual, així com la seva capacitat per aplicar regles o associacions en temps real.

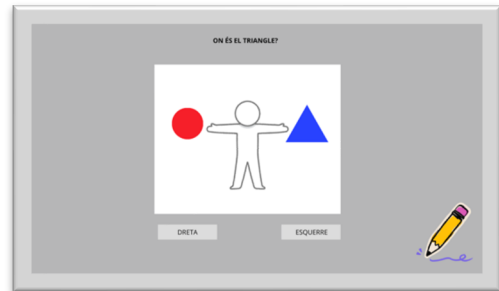
A mesura que avancen en l'exercici, les instruccions es tornen més complexes. Això ajuda a avaluar l'atenció visual i com els participants poden mantenir-se enfocades en la tasca mentre gestionen informació addicional, com les associacions entre colors i formes. A més, el participant pot ser sotmès a diferents variables que impliquen canvis en el seu focus d'atenció, com l'aparició d'altres elements distractors, de manera que la capacitat de multitasca es posi a prova.

Aquesta tasca també té com a objectiu mesurar la memòria de treball, com els participants han de recordar les instruccions donades (per exemple, que les figures roges són triangles) i actualitzar aquesta informació de manera constant mentre realitzen la tasca. Això reflecteix les exigències dels controladors aeris que, en el seu treball, han de mantenir una gran quantitat d'informació visual en la seva memòria de treball per poder prendre decisions ràpides.

El repte de ceguesa per falta d'atenció (inattention blindness) també es fa present en aquest exercici. Tal com es va demostrar en l'experiment de Chabris i Simon (1999), quan els participants estan massa concentrats en una tasca, com comptar els passos d'una pilota, poden no notar elements importants, com un goril·la passant pel davant [51]. Així, es busca observar si els participants passen per alt informació crucial mentre estan centrats en una tasca primària, com la identificació de les formes, la qual cosa permet mesurar com la selecció d'atenció influeix en la capacitat de processar informació.



Il·lustració 12- Exercici 2 Multitasca Visual:
Primera condició. Font: Elaboració pròpia.



Il·lustració 11 - Exercici 2 Multitasca Visual:
Pregunta aplicant condicions prèvies. Font:
Elaboració pròpia.

Part 1: Visual Multitasking	
• Recorda les condicions de forma progressiva, són acumulatives. • Indica a quin costat es troba: D (dreta) o E (esquerra).	
Pregunta	Resposta (D/E)
1. On és el cercle?	
2. On és el triangle?	
3. On és el triangle?	
4. On és el triangle?	
5. On és el triangle?	
6. On és el cercle?	
7. On és triangle?	
8. On és el triangle?	
9. On és el quadrat?	
10. On és el triangle?	
11. On és el cercle?	

Il·lustració 13 - Exercici 2 Multitasca Visual:
Full de respostes. Font: Elaboració pròpia.

Les condicions que apareixen i que progressivament es van sobre posant són:

- Les figures vermelles seran triangles.
- La dreta serà cercle.
- Un quadrat blau serà esquerra.
- Si hi ha una figura blava a la dreta, serà cercle a l'esquerra.

Aquest conjunt de condicions permet valorar diverses capacitats cognitives del participant, com ara la seva capacitat de retenció d'informació, la seva adaptabilitat i la seva flexibilitat per gestionar diferents tipus d'informació i regles a mesura que es presenten noves instruccions. A més, la frustració que pot sorgir quan no aconsegueixen resoldre correctament una tasca, però continuen amb la següent, reflecteix la seva capacitat per gestionar la càrrega d'informació i mantenir la concentració malgrat els errors anteriors. Aquesta situació posa a prova la seva capacitat de perseverança i la seva habilitat per afrontar la càrrega cognitiva en un entorn on les tasques es tornen cada vegada més complexes.

⇒ S'ha puntuat tenint en compte el nombre total d'acers, on cada resposta correcta suma un punt, i els no acers, que no sumen cap punt. A continuació, s'ha fet la mitjana entre els 11 elements avaluats per obtenir una puntuació final.

En l'última part, s'emeten alhora dues converses, i el participant haurà d'adquirir la màxima informació de cada una d'elles, mentre que de fons es repetirà la mateixa senyal de manera induïda. Es vol avaluar la capacitat de concentració selectiva del participant, és a dir, la seva habilitat per

centrar-se en informació rellevant enmig de múltiples estímuls concurrents. A més, aquesta part de l'exercici també té com a objectiu mesurar la capacitat de filtrar soroll de fons, una habilitat clau en tasques de multitasca on els participants han de gestionar diversos inputs de manera simultània. Aquest tipus d'escenari s'assembla a situacions de la vida real, com pot ser la feina de controladors aeris o altres professionals que han de mantenir la concentració en una tasca específica mentre filtra la informació irrellevant. A través d'aquest exercici, es pretén observar fins a quin punt els participants poden mantenir l'eficiència en la presa de decisions mentre gestionen la distracció d'estímuls externs.

Part 2: Audio Multitasking

- Tracta d'escoltar les dues històries i presta atenció als detalls.
- Descriu la màxima informació de cada una.

Veu Masculina:

Veu Femenina:

Observació:

Il·lustració 14 - Exercici 3 Àudio Multitaska: Full de respostes. Font: Elaboració pròpia.

3.4.1.2 Prova 2 – Test IMMAK i qüestionari

En la darrera part, és essencial avaluar la percepció del participant i la seva autopercepció respecte a les seves habilitats de multitasca i presa de decisions ràpides, complementant la medicació objectiva proporcionada pel test IMMAK. Aquest test ha estat seleccionat com el més idoni degut a la seva validació en estudis previs, és particularment útil per mesurar la capacitat de memòria de treball i multitasca sota condicions de alta pressió, aspectes clau per al rendiment en entorns com l'aviació, on es requereix gestionar múltiples fonts d'informació de manera simultània i prendre decisions ràpides. A més, s'ha demostrat que l'IMMAK és efectiu per avaluar la capacitat d'atenció dividida, la memòria operativa i la capacitat d'actualitzar la informació en temps real, habilitats fonamentals en l'entrenament de pilots i controladors aeris.

No obstant això, també s'ha considerat necessari incloure preguntes de percepció personal, ja que estudis com els de Hancock i Warm (2009) assenyalen que les respostes emocionals i l'auto-percepció influeixen significativament en la capacitat dels individus per manejar múltiples tasques i prendre decisions ràpides [52]. Les preguntes de percepció personal proporcionen una visió més completa de com els participants experimenten el seu rendiment, la seva confiança i motivació davant de la multitasca, la qual cosa permet avaluar no només el rendiment objectiu, sinó també com se senten en enfrontar-se a aquestes tasques sota pressió.

La inclusió d'aquestes preguntes també es justifica pel que afirmen Salas et al. (2006), que destaquen que la motivació intrínseca i l'auto-percepció de les pròpies habilitats juguen un paper crucial en l'èxit a llarg termini en entorns que requereixen d'aquestes habilitats. Les preguntes qualitatives permeten obtenir una valoració subjectiva del participant sobre la seva capacitat per gestionar diverses tasques simultàniament, proporcionant informació sobre la seva confiança i motivació abans i després de les sessions de simulador, així com sobre la seva percepció emocional de les situacions d'estrès i multitasca.

Utilitza una escala de valoració basada en el sistema Likert, que consisteix en 18 preguntes dissenyades per avaluar la capacitat de multitasca dels participants i la seva memòria de treball. Per a cada pregunta, els participants responen mitjançant una escala de cinc opcions, que es codifiquen de la següent manera: **1** per a “casi mai”, **2** per a “ocasionalment”, **3** per a “la meitat del temps”, **4** per a “freqüentment” i **5** per a “casi sempre”.

No obstant això, cal tenir en compte que no totes les preguntes utilitzen aquesta codificació directament. Dels 18 ítems del test, 14 tenen un codi directe (és a dir, les respostes es valoren segons la taula anterior), mentre que 4 ítems són inversos. Els ítems inversos (que són els números 8, 11, 14 i 16) utilitzen una codificació invertida: **5** per a “casi mai”, **4** per a “ocasionalment”, **3** per a “la meitat del temps”, **2** per a “freqüentment” i **1** per a “casi sempre”.

La puntuació total del test es calcula sumant les puntuacions obtingudes en cadascuna de les preguntes. En aquest procés, cal recordar invertir les puntuacions de les preguntes amb codi invers abans de realitzar la suma. La puntuació total resultant es compara amb un punt de tall establert, que en aquest cas és de **40 punts**. Si un participant supera aquest llindar, es considera que té una bona capacitat per a la multitasca, mentre que una puntuació per sota d'aquest límit indicaria més dificultats a l'hora de gestionar múltiples tasques simultàniament.

Aquesta puntuació proporciona una visió subjectiva de les capacitats del participant per gestionar diverses tasques i és un indicador de la seva capacitat de concentració, de la seva resistència a l'estrès i de la seva adaptabilitat a tasques complexes. Aquesta informació és complementària a les proves objectives, com el test NASA-TLX, i ajuda a avaluar el rendiment del participant en entorns amb alta pressió cognitiva.

I per últim, es complementa amb un Qüestionari Pre-Simulació, format per preguntes d'opinió sobre la gestió de l'estrès, la multitasca i la presa de decisions. Aquest qüestionari permet als participants prendre consciència de les seves pròpies reaccions i estratègies davant l'escenari, establint així un punt de partida per avaluar el seu progrés. A més, proporciona als instructors informació rellevant per comprendre millor el perfil i les necessitats dels participants dins la simulació. També facilita la comparació amb el qüestionari post-simulació per valorar l'impacte de la formació i interpretar amb més precisió les reaccions observades durant l'activitat.

3.4.2. Simulació

Els participants es sotmeten a tres sessions de simulació progressiva amb un simulador d'A320. Cada participant realitzarà tres tandes diferents de simulació, amb diferents configuracions del sistema de vol.

El pla de vol estarà preestablert i tindrà com a destinació final l'aeroport d'Edimburg, tal com es descriu en els procediments i la carta de vol que formen part del pla de simulació. Són dissenyades per reproduir situacions reals on cal:

- Prendre decisions ràpides.
- Respondre a múltiples estímuls i tasques de forma simultània.
- Comunicar-se constantment amb l'instructor.

Les sessions estan estructurades de forma gradual, incrementant el nombre i la complexitat de les tasques:

3.4.2.1 Parts de la Simulació

Primera Tanda: Configuració Normal

En aquesta fase, els participants volaran en un entorn on tant el pilot automàtic com el sistema d'empenta automàtica estan actius. Aquest escenari busca simular una condició estàndard, on el pilot pot concentrar-se en la navegació i la comunicació amb el control de trànsit aeri, sense les exigències de gestionar tot el vol manualment. S'avaluaran paràmetres clau com la maniobra, la direcció, l'altitud i la velocitat, tal com es mostra a la imatge proporcionada per l'avaluació de la sortida instrumental (TLA 6C), on es marquen diferents etapes de l'ascens (inicial, intermedi i final) i es segueix el pla de vol de manera estàndard.

Segona Tanda: Sense Pilot Automàtic

En aquesta fase, el pilot haurà de gestionar el vol sense l'ajuda del pilot automàtic. Això representa un repte addicional, ja que el pilot haurà de controlar manualment la maniobra, la direcció, l'altitud i la velocitat durant l'ascens inicial, intermedi i final, seguint sempre el pla de vol preestablert. Aquesta fase està dissenyada per avaluar la capacitat del pilot per gestionar la càrrega cognitiva i les demandes de multitasca, ja que se li exigeix estar més involucrat en la presa de decisions ràpides i en la gestió de situacions de pressió durant el vol.

Tercera Tanda: Sense Pilot Automàtic ni Sistema d'Empenta Automàtica

Finalment, en la tercera tanda, el participant haurà de volar sense cap tipus d'assistència automatitzada, tant pel que fa al pilot automàtic com al sistema d'empenta automàtica. Aquesta fase serà la més exigent, ja que el pilot haurà de gestionar tots els aspectes del vol de manera manual, la qual cosa incrementa significativament la càrrega cognitiva. En aquesta fase, s'avalua com el pilot gestiona la pressió de prendre decisions ràpides i gestionar múltiples tasques en temps real, com la navegació, la comunicació amb el control aeri i l'ajust continu de la potència i la direcció de l'avió.

Aquesta estructura permet observar la corba d'aprenentatge dels participants, especialment en els joves sense experiència prèvia, i mesurar el grau d'intuïció i adaptació en un entorn neutral i controlat. Tots els participants realitzen la mateixa ruta, amb els mateixos temps i instruccions, assegurant així l'equitat en l'experiment.

3.4.2.2 Pla de vol

El pla de vol representa una sortida de l'aeroport d'Edimburg (EGPH) cap a un rumb específic, dissenyat per a avions no jet que realitzen un ascens a través d'una ruta específica. A continuació, es descriu el procés de sortida basat en aquest pla de vol:

1. Punt d'inici – Runway 24 (Rwy 24):

El vol comença a la pista 24 d'Edimburg, on l'avió pren alçada inicial i comença el seu rumb a través de la ruta establerta. En aquest cas, la sortida segueix la ruta TLA 6C (Standard Instrument Departure o SID).

2. Ruta d'ascens inicial – TLA 6C (Standard Instrument Departure):

La ruta TLA 6C és un SID que indica la sortida estàndard per a avions no jet que operen en aquesta zona. Especifica la direcció inicial, així com les altituds a seguir.

- **Inici de l'ascens:** L'ascens comença amb l'avió mantenint una alçada de **6,000 peus** fins arribar a un punt anomenat **D7.0 ITH** (un punt de referència de navegació). El pla d'ascens es

manté a una alçada de 6,000 peus fins a **D9.5 ITH**, on les instruccions indiquen el següent canvi d'altitud.

3. Control de velocitat:

Un altre aspecte a destacar és la restricció de **velocitat màxima de 250 nusos fins a FL100**, a menys que es rebí una autorització diferent per part del control aeri. Aquest límit és comú per a la seguretat en zones properes a l'aeroport i en les fases inicials de l'ascens, ja que permet un control millor de la velocitat i les maniobres de l'avió.

4. Canvi d'altitud en el recorregut:

A mesura que l'avió avança en la seva ruta, es determinen altres canvis d'altitud, com ara a **D13 TLA** on es pot baixar a **5,500 peus** si s'estan complint les condicions específiques del vol, sempre respectant les regulacions del control aeri i la zona d'espai aeri en què es trobi l'avió.

5. Control de rumb:

A mesura que es van seguint els punts de referència com **D9.5 ITH** i **D13 TLA**, l'avió ha de seguir rumbos predeterminats, com es veu en la referència **R345** a D13, que implica una maniobra de viratge a l'esquerra per continuar seguint el rumb indicat.

6. Restriccions específiques d'espai aeri:

A la part inferior del pla, es mencionen advertències sobre la restricció d'altitud fins que el controlador aeri autoritzi l'ascens per sobre de **6,000 peus**, destacant la importància de seguir aquestes indicacions de manera estricta per garantir la seguretat a l'espai aeri controlat.

3.4.2.1 Evaluació de la Simulació

Pel que fa a la part d'avaluació de la simulació, s'han establert uns paràmetres específics per valorar l'eficiència i la capacitat dels participants per adquirir i processar informació.

Durant cada una de les fases, s'avaluaran paràmetres específics com:

- **Maniobra:** Capacitat del pilot per realitzar moviments i ajustos en l'avió segons sigui necessari durant el vol.
- **Direcció:** Precisió en el control de la trajectòria i l'alineació de l'avió amb el rumb preestablert.
- **Altitud:** Gestió precisa de l'altitud al llarg de les diferents fases del vol, especialment en els ascensos inicials i finals.
- **Velocitat:** Capacitat per mantenir la velocitat correcta durant tot el vol, ajustant-la segons les condicions del trànsit aeri o les instruccions del control.

Els participants van ser avaluats gràcies a la col·laboració de Jordi Manzano; pilot, instructor i mentor amb llarg recorregut, i un equip especialitzat en *eye tracking*. Aquesta tècnica permetrà una avaluació més objectiva dels paràmetres dels participants durant la simulació, permetent mesurar amb precisió aspectes com la fixació visual, els temps de resposta i altres elements crítics per a la gestió de la càrrega cognitiva i la presa de decisions. Tota aquesta informació serà recollida en una *checklist* que inclou els paràmetres específics per a cada fase de l'experiment.

3.4.3. Post-simulació

Després de finalitzar la fase de simulació, es realitza una nova avaluació del rendiment dels participants amb proves similars a les utilitzades en la fase prèvia per poder comparar els canvis i observacions realitzats. Aquestes proves proporcionaran una visió clara de l'impacte de la simulació sobre les capacitats cognitives i la percepció emocional dels participants. En aquest context, es fa ús de les següents tècniques i eines:

3.4.3.1 Prova 1 – Test NASA-TLX

Els participants, recent sortits de la simulació, van contestar el test de NASA TLX. Es va puntuar la càrrega de treball percebuda en una escala de 0 a 20, amb 0 representant una càrrega mínima i 20 una càrrega màxima. El test es va aplicar per mesurar la percepció subjectiva dels participants sobre com havien gestionat les tasques i l'estrès durant la simulació. Aquest procés va permetre obtenir una avaluació detallada de les diferents dimensions de la càrrega cognitiva, incloent la demanda mental, la demanda física, la pressió temporal, el rendiment, l'esforç i la frustració.

Cada participant respon a les preguntes del test de NASA-TLX utilitzant una escala de 0 a 20, on:

- **0-5:** Puntuació Baixa
- **6-10:** Puntuació Moderada Baixa
- **11-15:** Puntuació Moderada Alta
- **16-20:** Puntuació Alta

Un cop obtingudes les puntuacions per a cada sub-escala, es fa una mitjana aritmètica de les puntuacions per obtenir una puntuació global de la càrrega de treball percebuda per cada participant.

Els resultats es van utilitzar per determinar si la simulació va contribuir a millorar la percepció de la càrrega de treball, el rendiment en tasques de multitasca, i la capacitat per mantenir la calma sota pressió, i les diferències entre participants segons les seves característiques. Els resultats van permetre valorar les àrees on els participants van experimentar més dificultats o van sentir una major eficiència en el seu rendiment.

Tot i que es tracta només d'una única sessió amb diverses simulacions, s'espera que aquesta pugui provocar una lleu disminució percebuda de la càrrega cognitiva en alguns participants, a mesura que es familiaritzen amb l'entorn i comprenen millor la tasca. Aquest efecte pot reflectir-se especialment en dimensions com l'esforç global o la frustració. Així mateix, la sessió permet valorar la seva pròpia percepció del procés i identificar possibles canvis en la gestió de situacions complexes.

3.4.3.3 Prova 2 – Test IMMAK adaptat

En aquesta segona part de l'estudi, es fa ús d'un test basat en una escala de valoració Likert per mesurar l'autopercepció dels participants sobre la seva capacitat de gestionar múltiples tasques simultàniament en un entorn de simulació. Les preguntes estan dissenyades per avaluar diversos aspectes relacionats amb la multitasca en el context de la simulació de vol, com la capacitat per gestionar la càrrega cognitiva, l'eficiència en tasques múltiples, la capacitat d'adaptació a canvis inesperats i la manera com els participants perceben la seva capacitat per mantenir la concentració en diverses activitats al mateix temps.

Les respostes es valoraran mitjançant una escala de 1 a 5, on 1 significa "casi mai" i 5 "casi sempre", per obtenir una mesura subjectiva de com els participants perceben el seu rendiment a mesura que interactuen amb el simulador. Aquesta puntuació ajudarà a identificar si l'ús repetit del simulador ha millorat la seva percepció de la capacitat per gestionar diverses tasques al mateix temps, mantenir la calma en situacions d'alta pressió i adaptar-se a les tasques complexes del vol.

4. RECOLLIDA DE DADES

Van ser moltes les dades recopilades de cada una de les parts del procés d'investigació. Han estat primerament recollides, ordenades, netejades i introduïdes en un fitxer d'Excel per facilitar la seva anàlisi i valoració. Un cop processades, es va realitzar un anàlisi exhaustiu per avaluar els resultats obtinguts en les proves de pre-simulació, simulació i post-simulació, amb l'objectiu de comparar el rendiment dels participants abans i després de la simulació. A continuació, s'expressen els resultats obtinguts a cada una de les parts del procés d'investigació. Les dades recopilades en les proves de pre-simulació, simulació i post-simulació.

4.1 Pre-simulació

Els participants generalment van tenir una actitud positiva i amb ganes de començar l'exercici. Tots mostraven una actitud motivada, tot i que alguns semblaven lleugerament sorpresos o impactats en veure l'escenari de la simulació de vol en un A320. Aquesta reacció inicial reflecteix una certa emoció enfront de l'entorn realista de la simulació, la qual cosa podria influir en la seva concentració i rendiment en les proves posteriors. Començant per les dades demogràfiques recollides en la següent taula:

DADES DEMOGRÀFIQUES	Participants						
	A	B	C	D	E	F	G
Sexe	M	M	M	M	M	M	M
Edat	65	55	24	22	23	21	22
Procedència geogràfica	MAD	Salamanca	BCN	PMI	BCN	BCN	BCN
Estudis i formació actual	Pilot jubilat	Pilot professional Instructor IFR CESDA	Graduat CESDA	ATPL en procés OCC - Network	ATPL en procés OCC - Flight dispatch	PPL Coordinador vol	Enginyer aeronàutic OCC - Network
Hores de vol	20.000 h	10.000 h	250h	60 h	110 h	77h	Nil
Experiència en simuladors	Profesional	Profesional	Si	Nil	Nil	Nil	Nil
Nivell habilitats tecnològiques	Usuari	Usuari	Mitg	Alt-Mitg	Mitg	Mitg	Mitg

Taula 2 – Recopilació dades demogràfiques format Excel. Font: Elaboració Pròpia.

4.1.1 Vídeo Multitasking Test

Per començar amb l'experiment, es va avaluar prèviament els participants mitjançant el test en vídeo d'uns 4 minuts de durada. A continuació, es presenten els resultats obtinguts, els quals van ser recollits i organitzats en un fitxer d'Excel per facilitar la seva anàlisi posterior, seguint els criteris d'avaluació que s'han explicat prèviament.

Multitasking Test		Participants							
Part 1 - Visual Multitasking	1	Puntuació	A	B	C	D	E	F	G
			93%	84%	95%	96%	83%	77%	88%
	2	Figura percebuda?	No	Si	No	No	Si	No	Si
		Nombre percebut?	No	Si	Si	No	No	No	No
		Puntuació	0%	100%	50%	0%	50%	0%	50%
		3.1	1	1	1	1	1	1	1
		3.2	1	1	1	1	1	1	1
		3.3	1	1	1	1	1	1	1
		3.4	1	1	1	1	1	1	0
		3.5	1	1	1	1	1	1	0
	3	3.6	0	1	1	0	0	0	1
		3.7	0	0	1	0	0	0	1
		3.8	0	0	1	1	0	0	0
		3.9	1	1	0	0	1	0	1
		3.10	0	0	1	0	0	1	0
3.11		1	0	1	1	0	0	1	
Part 2 - Audio Multitasking		Puntuació	64%	64%	91%	64%	55%	55%	64%
		Paraules percebudes	7,5	9,5	8,5	7,5	7	6,5	6
		Observació	Si	Si	Si	No	Si	Si	No
	4	Puntuació	88%	98%	93%	38%	85%	83%	30%
Puntuació Final		61%	86%	82%	49%	68%	54%	58%	

Taula 3 - Recopilació Resultats Test Multitasking format Excel. Font: Elaboració pròpia.

4.1.2 Test IMMAK

A continuació es presenten les puntuacions obtingudes pels participants en el test IMMAK de la fase prèvia a la simulació. Aquestes dades seran utilitzades per comparar el rendiment dels participants abans de la simulació, tenint en compte la situació i les característiques de cada persona, com l'experiència prèvia amb simuladors i les habilitats de multitasca de cadascun. Així, es podran identificar les variacions en la seva capacitat per gestionar tasques simultànies i la seva memòria de treball després de l'entrenament amb el simulador, valorant l'impacte de l'experiència pràctica sobre aquests aspectes cognitius.

Test IMMAK Pregunta	Participants						
	A	B	C	D	E	F	G
1	4	4	4	3	5	5	3
2	2	2	2	1	1	2	1
3	4	2	5	4	3	4	4
4	2	3	2	2	1	2	2
5	5	4	4	4	4	3	4
6	1	4	1	2	4	3	2
7	5	5	4	2	1	5	1
8	3	2	3	4	2	4	2
9	3	2	4	2	4	4	3
10	2	2	3	5	4	5	4
11	4	2	2	1	2	2	3
12	4	1	5	3	2	3	1
13	1	4	2	4	1	2	2
14	2	2	4	2	4	4	3
15	3	4	3	1	2	3	1
16	2	1	2	1	1	2	4
17	5	4	4	5	5	3	4
18	4	5	4	3	2	3	2
Respostes	56	53	58	49	48	59	46

Taula 4 - Recopilació Resultats Test IMMAK Pre-Simulació. Font: Elaboració pròpia.

4.2 Simulació

Un cop els participants havien estat avaluats en les fases prèvies, es va procedir a posar-los un vídeo relaxant amb l'objectiu de facilitar que entrés en un estat mental tranquil, prèviament determinat per a la simulació. Aquest moment de relaxació va ser fonamental per preparar els participants mentalment abans de començar la fase activa de la simulació, assegurant que estiguessin en el millor estat possible per afrontar els reptes següents.

A partir d'aquest punt, es va iniciar la fase de la simulació, que es va dividir en tres etapes, totes elles pautades pel professional Jordi Manzano. Aquestes fases van ser dissenyades de manera progressiva, incrementant la complexitat de les tasques i situacions a mesura que avançava la simulació. El principal objectiu era avaluar la capacitat dels participants per gestionar tasques simultànies i prendre decisions ràpides en un entorn controlat que imita la pressió d'un escenari real.

Durant el desenvolupament de la simulació, els resultats i les respostes dels participants van ser avaluats subjectivament pel professional amb una *check-list*.



Il·lustració 15 - Fase Simulació, participant amb vídeo relaxant. Font: Elaboració pròpia.

Els resultats, que posteriorment seran analitzats per cada una de les parts, queden recollits i relacionats en una taula final, després d'haver-los recopilat, analitzat i depurat.

PARTICIPANT	C	D	E	G
AUTO	96%	79%	71%	67%
NO AUTO	54%	42%	46%	33%
NO AUTO + GASOS	29%	29%	33%	29%
SENSE AJUDES	21%	17%	13%	21%

Taula 5 - Recopilació Resultats Eficiència Simulació. Font: Elaboració pròpia.

4.3 Post-Simulació

A diferència de la fase prèvia, on els participants mostraven una certa inseguretat i curiositat per afrontar les tasques de multitasca sota pressió, en la fase post-simulació es va observar un canvi en el seu comportament i actitud. Després de completar la simulació, els participants es mostraven generalment més tranquils, amb una sensació de confiança augmentada i una major motivació per afrontar les tasques.

L'experiència en el simulador semblava haver-los proporcionat una sensació de control sobre les tasques i una millor capacitat per gestionar els esdeveniments inesperats o la pressió temporal, que anteriorment havien percebut com a més difícils de manejar, al ser unes condicions poc habituals per a ells.

4.3.1 Test NASA TLX

A continuació es presenten les puntuacions obtingudes pels participants en el test NASA-TLX després de la simulació.

NASA TLX (1-20pt)	Participants					
	A	B	C	D	E	G
Mental Demand	17	12	9	16	15	13
Physical Demand	5	7	5	13	6	8
Temporal Demand	6	12	12	8	14	15
Performance	14	10	16	5	19	9
Effort	13	13	8	16	15	10
Frustration	8	12	2	14	4	5
Puntuació	10,5	11	8,67	12	12,17	10,67

Taula 6 - Recopilació Resultats Test NASA TLX. Font: Elaboració pròpia.

4.3.2 Test IMMAK adaptat

A continuació es presenten les puntuacions obtingudes pels participants en el test IMMAK adaptat després de la simulació. Aquest test, dissenyat per avaluar la capacitat de multitasca i la memòria de treball, es va utilitzar per mesurar com els participants es perceben a si mateixos després de la simulació. La taula reflecteix les puntuacions individuals de cada participant en cadascuna de les preguntes del test adaptat.

Test IMMAK	Participants						
Pregunta	A	B	C	D	E	F	G
1	4	4	4	5	5	4	3
2	4	3	4	4	4	2	1
3	2	4	2	4	4	2	4
4	5	4	1	5	3	2	2
5	3	2	5	5	4	2	4
6	2	1	4	5	4	3	2
7	3	3	3	4	5	2	1
8	5	4	5	5	5	4	2
9	2	3	2	5	4	4	3
10	4	1	1	4	5	2	4
11	5	4	3	4	5	3	3
12	4	5	4	5	1	3	1
13	2	4	4	3	5	3	2
14	2	2	2	5	5	3	3
15	4	3	4	5	4	5	1
16	5	3	4	5	4	4	4
17	5	4	2	5	3	3	4
18	5	5	5	5	5	3	2
Respostes	66	59	59	83	75	54	46

Taula 7 - Recopilació Resultats Test IMMAK Adaptat. Font: Elaboració pròpia.

5. TRACTAMENT DE DADES

5.1. Resultats estadístics

Per a poder valorar tots els dades, primer hem de conèixer el perfil de la mostra utilitzada, ja que això té un impacte directe sobre els resultats obtinguts. En aquest cas, la mostra està formada per un conjunt de participants amb una diversitat notable pel que fa a l'experiència en aviació i en simuladors, fet que ens permet observar de manera més detallada com aquestes característiques poden influir en els resultats de les proves.

La mostra està composta per set participants, tots homes, amb una edat que va des dels 22 fins als 65 anys. D'aquests, alguns tenen una experiència destacada en l'aviació i en simuladors. Per exemple, els participants A, B i C tenen més de 1000 hores de vol, amb el participant A amb una experiència de 20.000 hores. D'altres, com els participants D, E i F, tenen una experiència més reduïda, amb una mitjana de 100 hores de vol, i els participants G i D no tenen experiència prèvia en simuladors de vol. A més, en termes de formació, hi ha una barreja entre pilots professionals, pilots en formació i altres perfils com un enginyer aeronàutic i coordinador de vol, la qual cosa enriqueix l'anàlisi de com les diverses formacions poden influir en la gestió de tasques i l'estrès sota condicions de simulador.

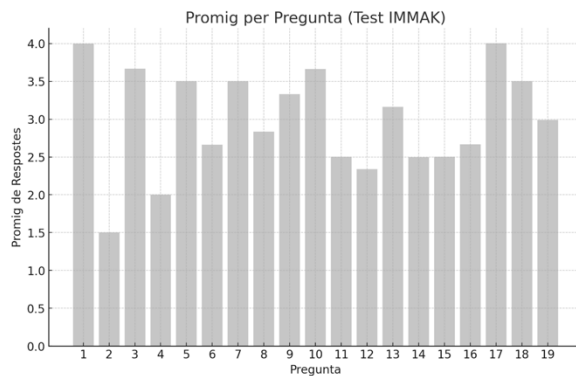
Categoria	Rang	Percentatge
Sexe	Masculí	100 %
Edat	20-24 anys	71 %
	50-65 anys	29 %
Experiència en Aviació	Professional (A/B)	29 %
	Novel amb més experiència (C)	14 %
	En procés (D/E)	29 %
	En procés, menys experiència (F)	14 %
	Sense experiència (G)	14 %
Hores de Vol	0 hores	14 %
	60-80h hores	29%
	100-300h	29%
	10.000 - 20.000h	29 %
Experiència en Simuladors	Professional	29 %
	Ninguna	57 %
	Limitada	14 %
Habilitats Tecnològiques	Nivell usuari	29 %
	Nivell mig	71 %

Taula 8 - Resultats Estadístics Dades Demogràfiques. Font: Elaboració pròpia.

5.1.1 Test IMMAK

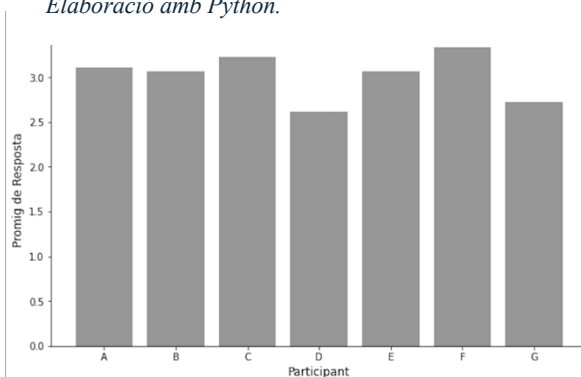
Per analitzar els resultats obtinguts a través del qüestionari IMMAK, primer s'ha considerat la puntuació mitjana per pregunta i per participant. Pel que fa a les preguntes, la que ha obtingut la puntuació més alta és la de "Generalment, planifico bé el meu dia i no tinc problemes per complir amb les tasques previstes", amb una mitjana de 4.14, indicant que els participants perceben una millora en la seva capacitat d'organització i gestió del temps després de l'entrenament al simulador. D'altra banda, preguntes com "Sento que em resultaria més fàcil delegar tasques a altres persones quan és necessari" i "Em resulta difícil desconnectar mentalment de les tasques pendents, fins i tot quan estic en moments de descans", amb puntuacions mitjanes de 3.71 i 2.00 respectivament, mostren que hi ha marge per millorar en la delegació de tasques i en la capacitat de descansar i desconnectar mentalment.

Pel que fa a la puntuació per participant, el participant F, amb una mitjana de 3.33, ha mostrat la millor puntuació, indicant una capacitat més elevada per gestionar tasques i organitzar el temps de manera efectiva. D'altra banda, els participants D i G, amb puntuacions mitjanes de 2.61 i 2.72, semblen tenir més dificultats per gestionar la seva càrrega de tasques, mostrant una percepció més baixa de la seva capacitat de multitasca i organització. Aquests resultats suggereixen que, tot i que la majoria dels participants mostren una millora en la capacitat de gestionar múltiples tasques, hi ha aspectes específics, com la capacitat de delegar tasques i la necessitat de desconnectar, que poden requerir més entrenament i pràctica.



Promig de Respostes per Pregunta	
1	4,00
2	1,57
3	3,71
4	2,00
5	4,14
6	2,57
7	3,14
8	3,42
9	3,28
10	3,28
11	2,71
12	3,14
13	2,57
14	3,00
15	2,14
16	2,14
17	4,14
18	3,28

Taula 9 - Promig de Puntuació per Pregunta TEST IMMAK. Font: Elaboració pròpia.

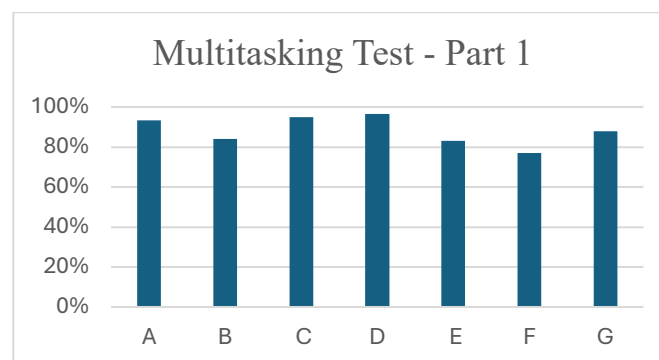


Promig Respostes Participant	
A	3,11
B	3,06
C	3,22
D	2,61
E	3,05
F	3,33
G	2,72

Taula 10 - Promig de Resposta per Participant TEST IMMAK. Font: Elaboració Pròpia.

5.1.2 Multitasking Test

En la primera part les puntuacions obtingudes van ser les següents:



Gràfic 3 - Puntuacions Test Multitasca Part 1. Font: Elaboració pròpia.

El promig de respostes per participant mostra que la majoria dels participants tenen una bona capacitat per realitzar tasques simultànies. La majoria d'ells, amb una puntuació mitjana superior al 80%, indica que no van tenir grans dificultats per gestionar les tasques visuals en paral·lel. Això s'alinea amb l'objectiu del test, que volia mesurar la capacitat per gestionar dues tasques cognitives alhora, com comptar figures i detectar una figura addicional que apareix a la pantalla.

Tanmateix, les diferències de puntuació entre els participants, com es pot observar amb F (amb una puntuació del 77%), suggereixen que alguns individus poden haver tingut més dificultats a l'hora de realitzar diverses tasques visuals al mateix temps. Aquests participants poden haver experimentat un major cost cognitiu associat a la divisió de l'atenció.

El promig general per pregunta de 88% indica que, en general, els participants van poder processar correctament la majoria dels estímuls visuals presentats. Això suggereix que els participants van ser capaços de mantenir una atenció focalitzada en les figures principals (com els cercles i les creus) i, en certa mesura, gestionar l'aparició de la figura addicional (l'estrella) en l'escenari visual, tot i que alguns, com F i E, van poder haver tingut dificultats per percebre correctament aquesta figura extra, el que podria reflectir els efectes de la ceguesa per inatenció o el desviament de l'atenció mentre intentaven realitzar diverses tasques alhora.

Promig Efectivitat Part 1 - Pregunta 1	88%
--	-----

Per analitzar la part de l'“estrella” del test de multitasca, considerem dos aspectes principals:

1. **Figura percebuda:** Si el participant ha detectat o no la presència d'una estrella addicional durant l'exercici.
2. **Nombre percebut:** Si el participant no només ha detectat l'estrella, sinó que també ha pogut identificar correctament el nombre d'estrelles.

En aquest cas, en el test es proporciona una puntuació addicional per als participants que han percebut correctament l'estrella i també si han identificat el nombre exacte d'estrelles (en aquest cas, 3).

Anàlisi dels resultats

1. **Figura percebuda:**
 - Dels 7 participants, 3 han percebut l'estrella (és a dir, un 43%), mentre que 4 no l'han percebuda (un 57%). Aquesta diferència suggereix que més de la meitat dels participants no van aconseguir identificar l'estrella durant l'exercici, el que pot ser indicatiu dels efectes de la distracció cognitiva causada per la tasca simultània.
2. **Nombre percebut (Identificació correcta):**
 - En quant a la correcta identificació del nombre d'estrelles, només 1 dels participants ha aconseguit percebre correctament les 3 estrelles, la qual cosa correspon a un 14% d'encerts. Això destaca com, quan els participants estan dividits entre múltiples estímuls (el recompte d'altres figures i la percepció de l'estrella), molts no van ser capaços d'identificar el nombre exacte d'estrelles.

Resultats recollits en la següent taula:

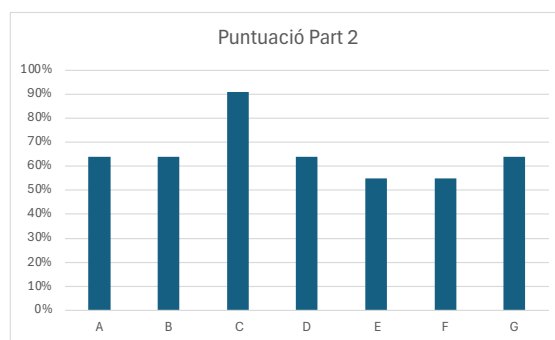
Pregunta	Resposta	Nombre	Percentatge
Figura Percebuda?	Sí	3	42,86
	No	4	57,14
Nombre Percebut?	Sí	2	28,57
	No	5	71,43

Taula 11 - Resultats Test Multitasca Part 1/ Pregunta 2. Font: Elaboració Pròpia.

Promig Efectivitat Part 1 - Pregunta 2	28,57%
--	--------

Aquest valor indica que, en general, l'efectivitat en aquesta part del test va ser moderada, ja que tot i que alguns participants van notar l'estrella, molt pocs van poder identificar el número correcte.

En la segona part les puntuacions obtingudes van ser les següents:



Gràfic 4 - Puntuacions Test Multitasca Part 2. Font: Elaboració pròpia.

En general, els participants mostren un alt nivell de precisió en les primeres preguntes del test, amb un 100% de respostes correctes en les primeres tres preguntes (3.1, 3.2, 3.3).

- A mesura que les preguntes es tornen més complexes, es comencen a observar decrements en la precisió. A la pregunta 3.4, el percentatge de respostes correctes comença a disminuir a un 85,71%, indicant que els participants estan experimentant un increment en la dificultat a mesura que les tasques es van fent més complicades.

- Les preguntes 3.6, 3.7, 3.8, 3.10 i 3.11 presenten un descens significatiu en la precisió, amb percentatges de respostes correctes entre el 28,57% i el 42,86%. Aquesta disminució pot ser un reflex de l'efecte que tenen les restriccions addicionals en la capacitat cognitiva dels participants, fet que implica un augment de la càrrega mental a mesura que han de gestionar més informació simultàniament.

Pregunta	Promitg (%)
3.1	100%
3.2	100%
3.3	100%
3.4	85,71%
3.5	85,71%
3.6	42,86%
3.7	28,57%
3.8	28,57%
3.9	57,14%
3.10	28,57%
3.11	57,14%

Taula 12 - Promig Puntuació per Pregunta Test Multitasca Part 2. Font: Elaboració Pròpia.

Els participants A, B, D i G tenen un promig de respostes correctes del 63,64%, mentre que els participants C, E i F presenten algunes diferències significatives. En particular, el participant C té una mitjana de 90,91%, indicant una major capacitat per gestionar la càrrega cognitiva i multitasca, fins i tot amb un augment en la complexitat de les tasques.

Els participants E i F, amb un promig de 54,55%, mostren més dificultats a l'hora de gestionar múltiples tasques i a mesura que les instruccions es fan més complexes, el seu rendiment es veu afectat. Això pot indicar una menor capacitat de retenció d'informació i flexibilitat cognitiva en comparació amb els altres participants.

Participant	Promig (%)
A	63,64%
B	63,64%
C	90,91%
D	63,64%
E	54,55%
F	54,55%
G	63,64%

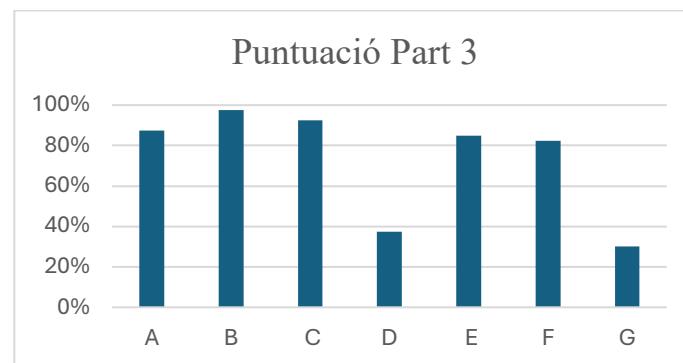
Taula 13 - Promig Puntuació per Participant Part 2. Font: Elaboració Pròpia.

Promig Efectivitat Part 2	64,94%.
---------------------------	---------

L'experiment demostra com l'augment de la complexitat de les tasques i les restriccions addicionals pot afectar significativament la capacitat dels participants per realitzar múltiples tasques alhora. A mesura que els participants han d'associar més informació i gestionar més estímuls visuals i auditius simultàniament, la seva capacitat de processament disminueix, amb una notable caiguda en els percentatges de respostes correctes.

Els resultats també mostren que, tot i que alguns participants tenen un millor rendiment que altres, tots els participants experimenten una disminució en la seva precisió conforme les restriccions augmenten. Això és coherent amb els models d'atenció visual com el "focus de llum" i el "lent de zoom", que suggereixen que l'atenció es redueix a mesura que més estímuls competeixen per la nostra concentració. Així mateix, la relació entre la memòria de treball i la capacitat per gestionar múltiples tasques és evident, ja que els participants amb una major capacitat de memòria de treball (com el participant C) obtenen millors resultats fins i tot en tasques més complexes.

Per últim, en **la tercera de les parts**, els resultats van ser:



Gràfic 5 - Puntuacions Test Multitasca Part 3. Font: Elaboració pròpia.

Els participants es van veure sotmesos a una situació d'atenció dividida, on havien d'escollar simultàniament dues converses (una de cada parlant) mentre s'indicava una senyal telefònica en determinats moments. La tasca consistia a identificar la informació més rellevant enmig de múltiples estímuls auditius i visualitzar una senyal de fons, per mesurar la capacitat d'atenció selectiva i la capacitat de filtrar soroll de fons.

Els resultats obtinguts mostren que, tot i que les dues veus (la de la noia i la del noi) estaven a un volum igual, molts participants van percebre que una veu era més forta que l'altra. Aquest fenomen pot estar influenciat per la percepció selectiva de l'atenció. En un context de multitasca, el cervell pot focalitzar-se més en un dels estímuls i, com a resultat, amplificar la percepció d'una veu sobre l'altra,

tot i que el volum real fos el mateix. Aquesta dinàmica mostra com l'atenció en una tasca pot modificar la percepció de les condicions externes, com el volum o la claredat de la informació.

En quant als resultats dels participants, es va observar una variabilitat considerable en la seva capacitat per identificar correctament les paraules clau en les dues converses. Tot i que tots els participants van escoltar amb atenció les dues converses, no tots van aconseguir retenir igualment les paraules que apareixien en elles. Això reflecteix la capacitat individual per gestionar múltiples estímuls i la facilitat amb la qual el cervell pot focalitzar-se en una font d'informació més que en l'altra.

Aquesta tasca també avaluava l'atenció auditiva i la memòria de treball, ja que els participants havien de recordar les instruccions sobre la senyal telefònica (amb respostes de "sí" o "no") i mantenir aquesta informació per contrastar-la amb la llista de paraules clau que apareixien durant les converses. Els resultats mostraren una mitjana de 57,14% de respostes correctes en aquesta part, indicant que els participants, en general, van tenir dificultats per captar la major part de la informació rellevant. Això és consistent amb els desafiaments que comporta la capacitat de multitasca en un entorn d'alta demanda cognitiva.

Promig Efectivitat Part 3 – Pregunta 1	75%
---	------------

Promig Efectivitat Part 3 – Pregunta 2	28,57%
---	---------------

Aquest rendiment moderat (només el 28,57% d'efectivitat en identificar la senyal) pot estar relacionat amb les exigències cognitives de l'exercici. A mesura que els participants es veuen obligats a processar simultàniament dues converses i gestionar la distracció de la senyal telefònica, la capacitat d'atenció es veu fragmentada, cosa que dificulta la identificació de detalls com la senyal enmig de la sobrecàrrega d'estímuls. El fet que dos participants hagin pogut identificar correctament la senyal indica que, tot i que l'exercici presenta reptes significatius, alguns participants són capaços de gestionar eficaçment la multitasca en situacions de distracció.

5.1.3. Avaluació Check-list Simulació

Per poder avaluar la simulació amb l'ajuda d'un pilot experimentat, es van establir tres fases, distribuïdes en quatre tandes, on es va considerar que progressivament s'incorporaven més tasques.

Les fases eren les següents: enlairament (des de la carrera d'enlairament fins a la retracció del tren d'aterratge), ascens inicial (des de la retracció del tren d'aterratge fins a la retracció dels flaps) i ascens final (després de la retracció dels flaps). En cada fase, les tasques eren diferents. Tenint en compte la dificultat de cadascuna, l'enlairament es considera la tasca més millorable en un període curt de temps, ja que és més senzilla i repetitiva. En canvi, en l'ascens inicial la complexitat augmenta, ja que les maniobres són més exigents, i en l'ascens final la tasca tendeix a estabilitzar-se, però depèn més de l'experiència adquirida pel participant.

Les simulacions es van avaluar en termes de maniobra, tendència lateral, tendència vertical i velocitat. Es van realitzar quatre simulacions, les quals requerien progressivament més concentració i càrrega mental. La primera simulació es va fer amb pilot automàtic total, la segona sense pilot automàtic, la tercera amb pilot automàtic però amb el control dels gasos com a ajuda per a la velocitat, i finalment, la quarta simulació es va fer completament sense ajudes, sense pilot automàtic ni control dels gasos.

Per poder valorar les dades de cada fase sota les diferents condicions, es va avaluar cada simulació amb les tres fases per a cada participant, obtenint una puntuació total per a l'exercici.

HORA (13:35) (13:50) (14:00) (14.08)													
ENLAIRAMENT		AUTO			NO AP			NO AP AT			RAW DATA		
		-	OK	+	-	OK	+	-	OK	+	-	OK	+
Des de la carrera d´enlairament fins a la retracció del tren d´aterratge	MANIOBRA	X				X			X			X	
	LATERAL		X		X			X			X		
	VERTICAL			X	X				X		X		
	VELOCITAT			X			X		X			X	

Taula 14 - Exemple Avaluació Check-list Simulació, Fase Enlairament. Font: Elaboració Pròpia.

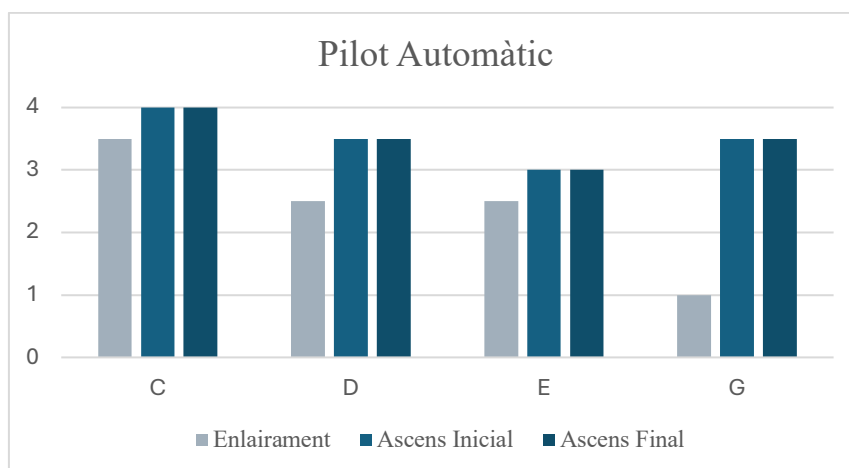
Les puntuacions es van assignar de la següent manera: 1 punt per a la tasca realitzada correctament, 0,5 punts per una tasca realitzada de manera acceptable, i 0 punts per una tasca realitzada incorrectament. La puntuació màxima en cada tipologia de simulació era de 4 punts (puntuant maniobra, tendència i velocitat), i la puntuació màxima per participant en les 4 simulacions era de 18 punts.

ASCENS INICIAL		AUTO		
		-	OK	+
Després de la retracció dels Flaps	MANIOBRA	0pt	0,5pt	1pt
	DIRECCIÓ			
	ALÇADA			
	VELOCITAT			

Taula 15 - Mètode Puntuació Tasques Simulació. Font: Elaboració pròpia.

Cal destacar que algunes simulacions no es van poder tenir en compte per manca d'informació registrada. A més, les simulacions dels participants A i B no es van considerar, ja que, com a pilots professionals, se'ls considera capaços de realitzar totes les tasques amb plena eficàcia, i els seus resultats no són rellevants per a aquest apartat, tot i que sí que ho són en els tests realitzats abans i després d'aquesta fase.

Simulació amb pilot automàtic



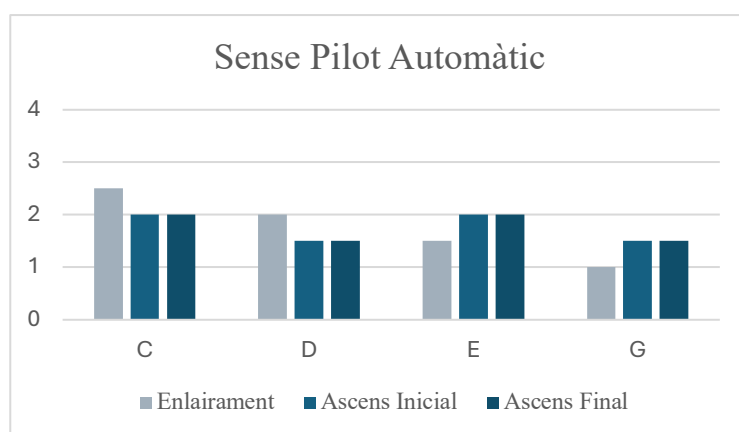
Gràfic 6 - Resultats Simulació en Pilot Automàtic. Font: Elaboració Pròpia.

Informació recollida en la següent taula:

Participant	C	D	E	G
Enlairament	Perfecte. Enlairament normal.	No té en compte la maniobra.	No compleix en la maniobra. Tendència lateral normal.	No compleix amb els paràmetres, només velocitat correcta.
Ascens Inicial	Tot perfecte.	Tot correcte. Maniobra normal.	No compleix en la maniobra.	Tot correcte. Maniobra normal.
Ascens Final	Tot perfecte.	Tot correcte. Maniobra normal.	No compleix en la maniobra.	Tot correcte. Maniobra normal.

Taula 16 - Valoració Resultats Simulació en Pilot Automàtic. Font: Elaboració Pròpia.

Simulació sense pilot automàtic



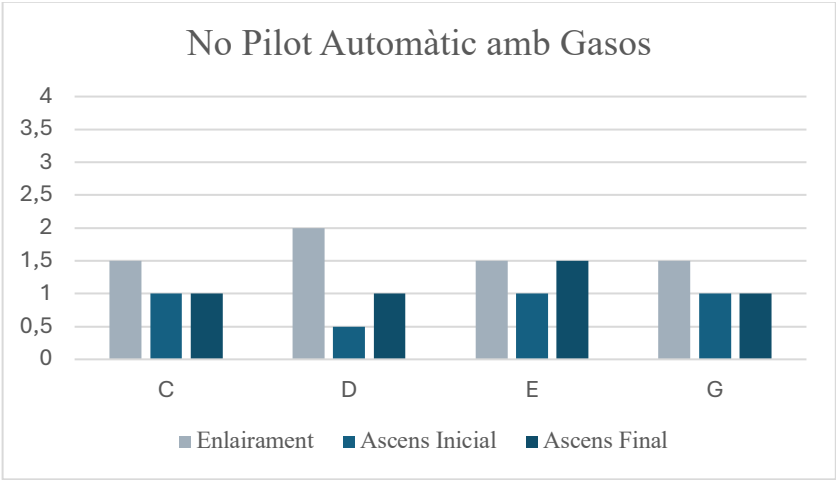
Gràfic 7 - Resultats Simulació Sense Pilot Automàtic. Font: Elaboració Pròpia.

Informació recollida en la següent taula:

Participant	C	D	E	G
Enlairament	El seu punt fort ha estat la velocitat.	No compleix amb la maniobra. La velocitat correcta i les restants millorables.	No compleix ni la lateral ni vertical. Ha de millorar en la maniobra.	No els compleix, només la velocitat.
Ascens Inicial	La vertical no ha estat correcta. Pot millorar la maniobra i la tendència vertical.	No compleix amb la maniobra ni velocitat. Velocitat correcta i lateral millorable.	No compleix amb la vertical però si amb la velocitat. Maniobra i velocitat millorable.	No compleix amb la lateral ni vertical. La maniobra es millorable i la velocitat correcta.
Ascens Final	La maniobra no ha estat correcta i la lateral i vertical es pot millorar.	No compleix amb la maniobra ni vertical. La velocitat correcta i lateral millorable.	No compleix amb la vertical però si amb la velocitat. Maniobra i velocitat millorable.	La vertical i velocitat no es compleixen. La resta son millorables.

Taula 17 - Valoració Resultats Simulació Sense Pilot Automàtic. Font: Elaboració Pròpia.

Simulació Sense Pilot Automàtic amb Gasos



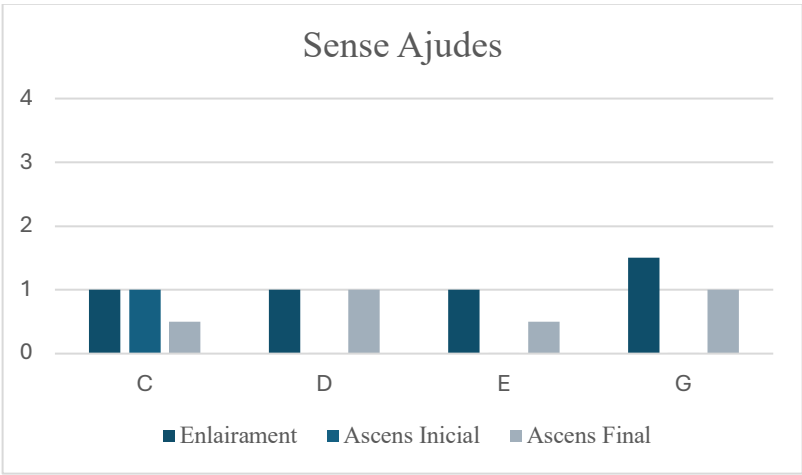
Gràfic 8 - Resultats Simulació Sense Pilot Automàtic amb Gasos. Font: Elaboració Pròpia.

Informació recollida en la següent taula:

Participant	C	D	E	G
Enlairament	No ha elaborat correctament la tendència lateral.	Tots els paràmetres son millorables.	No compleix la lateral, de forma normal les restants.	-
Ascens Inicial	Comencen a notar-se la magnitud de les tasques i no elabora correctament ni la lateral ni la vertical.	No compleix amb cap paràmetre , tret de la maniobra que es millorable.	Lateral i vertical no les compleix. Millorables les dues restants de maniobra i velocitat.	-
Ascens Final	La vertical i la velocitat no han estat correctes afegint que la resta de paràmetres son millorables.	No compleix amb la vertical i velocitat , la resta millorables.	Totes de forma normal i la velocitat no la assoleix.	-

Taula 18 - Valoració Resultats Simulació Sense Pilot Automàtic amb Gasos. Font: Elaboració Pròpia.

Simulació Sense Ajudes



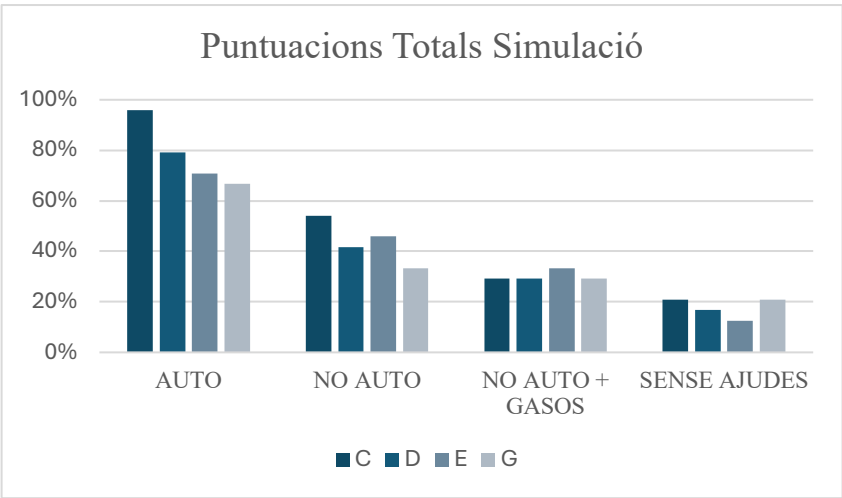
Gràfic 9 - Resultats Simulació Sense Ajudes. Font: Elaboració Pròpia.

Informació recollida en la següent taula:

Participant	C	D	E	G
Enlairament	La lateral i la velocitat ja no la compleix. Cap puntuació màxima.	Vertical no correcte, la velocitat correcte, maniobra i lateral millorable.	La lateral i la velocitat no la compleix. Millorable la maniobra i velocitat.	Compleix en la velocitat, la resta millorable.
Ascens Inicial	No compleix ni la lateral ni la velocitat. Cap puntuació màxima.	No compleix amb cap paràmetre.	No compleix amb la lateral, vertical i velocitat. Maniobra millorable.	No compleix amb cap paràmetre.
Ascens Final	Cap puntuació correcte.	No compleix amb la vertical i velocitat. Maniobra i lateral millorable.	No compleix amb la lateral, vertical i velocitat. Maniobra millorable.	No compleix en la vertical ni la velocitat. La resta millorables.

Taula 19 - Valoració Resultats Simulació Sense Ajudes. Font: Elaboració Pròpia.

Finalment obtenint les puntuacions totals recollides en la següent taula:



Gràfic 10 - Puntuacions Totals Simulació. Font: Elaboració pròpia.

Per poder recollir una puntuació total en la simulació de cada participant, s’ha volgut relacionar un pes a cada una de les simulacions segons la seva dificultat el relació en el multitasca. Recollit a la següent fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Puntuació simulació} &= (\%PilotAuto \times 0.10) + (\%NoAuto \times 0.20) + (\%NoAuto + Gasos \times 0.30) \\ &+ (\%SenseAjudes \times 0.40) \end{aligned}$$

L’anàlisi de les puntuacions ens indica que, tot i que el participant C (en aquest cas, el que disposa de més hores de vol i experiència) va començar amb una puntuació alta en les condicions de simulació automàtica, la seva capacitat per gestionar les fases sense ajudes va disminuir de manera significativa en comparació amb les fases inicials. Per contra, els participants D, E i G, que van iniciar amb puntuacions més baixes, van demostrar una millora destacable en el seu rendiment a mesura que la càrrega cognitiva augmentava. Aquest comportament subratlla una notable capacitat d’adaptació i aprenentatge dels participants, que, malgrat no tenir experiència prèvia en aviació, van aconseguir gestionar amb èxit tasques d’alta demanda cognitiva. Aquesta evolució posa de manifest la plasticitat cognitiva, fins i tot sense una diferència notable entre participants amb més o menys experiència. Com es pot observar en la següent taula:

PARTICIPANT	C	D	E	G
PUNTUACIÓ TOTAL	38%	32%	31%	30%

Taula 20 - Anàlisi Puntuacions Totals Simulació. Font: Elaboració pròpia.

Promig Efectivitat Simulació	32,75%
------------------------------	--------

5.2. Discussió dels resultats per Participant

En la següent taula es recopilen tots els resultats finals de les proves elaborades per a l'estudi.

Participants	A	B	C	D	E	F	G
TESTIMMAK 1	56	53	58	49	48	59	46
TESTIMMAK 2	66	59	59	83	75	54	46
Multitasking	61%	86%	82%	49%	68%	54%	58%
Nasa TLX	20,33	18,67	19,50	22,00	20,50	18,83	15,33
Simulació			C	D	E		G
			38%	32%	31%		30%

Taula 21 - Puntuacions resultants del estudi. Font: Elaboració Pròpia.

Aquest estudi ha destacat la importància dels factors humans en els processos de selecció aeronàutica, una disciplina que sovint es focalitza en els aspectes tècnics, però que també requereix una comprensió profunda de les funcions cognitives dels pilots. El ser humà, amb capacitats cognitives limitades, necessita entrenar aquestes habilitats per ser més eficient i, d'aquesta manera, millorar el seu rendiment en situacions d'estrès. Com s'ha observat en aquest estudi, la capacitat d'atenció és un recurs limitat, i en el cas de l'aviació, la complexitat de les tasques a processar, així com la sobrecàrrega cognitiva, augmenta la probabilitat d'errors no imputables a falles mecàniques sinó a errades humanes.

Un exemple que il·lustra aquesta situació és el procés d'aprenentatge que experimentem quan conduïm un cotxe per primera vegada. L'estrès inicial ens ajuda a estar alerta i a aprendre, però amb l'experiència, el cervell comença a automatitzar certes tasques, i la manca d'atenció esdevé més prevalent. Això és similar al que experimenten les persones sense coneixement previ en simuladors de vol. Per a aquests participants, el fet de trobar-se en un entorn nou i desconegut els ajuda a desenvolupar capacitats cognitives prèvies, ja que els simuladors estan dissenyats per entrenar les mateixes habilitats que els pilots han de dominar, com la capacitat de gestionar diverses tasques alhora en un entorn d'estrès. Ressaltar que al ser un perfil no experimentat, l'avaluador no s'enfoca tant en els aspectes tècnics de la simulació ni en la seva capacitat per pilotar amb més o menys coneixement, sinó en la seva capacitat per processar correctament els conceptes a mesura que les circumstàncies canvien o augmenten en termes de qualitat.

Aquest enfocament es va contrastar també amb les preguntes d'opinió que van rebre els pilots, les seves respostes apuntaven a valorar el mètode com a òptim, sobretot si no s'ha estat acostumat a fer-lo servir, destacant els beneficis de totes les capacitats que poden ser entrenades en una simulació. En aquest sentit, els participants van expressar que, tot i no tenir experiència prèvia, la simulació els va proporcionar un entorn eficaç per entrenar diverses habilitats cognitives.

Queda clar que la destresa es degrada ràpidament a mesura que afegim més inputs. La repetició ajuda a millorar-les, però la rutina fa que aquestes habilitats es tornin més automàtiques, i a mesura que el cervell es torna més habitual en la realització de tasques, resulta més difícil afegir noves aptituds o millorar les ja existents. Fins i tot tasques senzilles poden tornar-se molt complexes quan la força cognitiva que s'utilitza és molt gran. Aquest fenomen és especialment evident en situacions de multitasca, on les diverses tasques es mantenen present en tot moment, i la capacitat d'atenció es veu constantment estirada. És per això que, en fases crítiques del vol, els pilots tenen prohibit parlar d'altres temes que no estiguin directament relacionats amb el procediment en curs, reduint tasques i augmentant la concentració en el que és essencial per a la seguretat i l'eficàcia de l'operació. Aquesta pràctica es complementa amb l'ús de *check-lists*, eines que permeten organitzar les tasques de manera que cada acció es faci de forma més conscient i eficient. Són essencials per garantir que les tasques

siguin executades sense oblidar-se de cap detall important, ja que l'atenció no pot ser distribuïda de manera infinita entre diverses activitats.

Quan estem ocupats amb moltes tasques, el cervell no pot prioritzar la informació adequadament. És a dir, no selecciona correctament la informació que és rellevant i pot oblidar la que no és essencial. Per exemple, en l'exercici multitasca de les FEAST, a mesura que s'afegeixen condicions, potser s'acaben utilitzant condicions prèvies que ja no són necessàries, en lloc de des prioritzar-les per centrar-se en les més rellevants. Això fa que les distraccions i la multitasca siguin difícils de controlar, un fet que justifica la necessitat d'entrenar aquestes habilitats.

En aquest context, trobem una línia fina entre l'experiència i la zona de confort. Amb l'experiència, els individus poden gestionar millor la càrrega cognitiva, però al mateix temps, s'hi ha d'equilibrar la zona de confort per evitar que les tasques esdevinguin automàtiques fins al punt que es perdi la capacitat d'adaptar-se a situacions noves i imprevistes. Això ressalta la importància d'un entrenament continu que permeti als pilots mantenir-se alerta, gestionar la càrrega cognitiva de manera eficaç i no caure en la comoditat de la rutina.

El **participant A**, amb més de 20.000 hores de vol, va valorar la seva capacitat per gestionar diverses tasques com a òptima abans de l'experiment. Enfront de situacions de pressió, prefereix reflexionar abans de reaccionar, donant-li dues voltes als problemes. Li agradaria poder realitzar més tasques simultàniament, especialment en la seva vida quotidiana, i considera que se sent còmode realitzant diverses tasques alhora, sempre que aquestes no siguin massa complexes. Un factor destacable és que mai havia utilitzat aquest model d'avió, i aquest desconeixement o sortir de la seva zona de confort de vegades li genera incomoditat. Sorprenentment, en el test de multitasca, la seva puntuació no va ser tan positiva com esperava. Va tenir dificultats per percebre les senyals induïdes en l'exercici, ja que la seva atenció quedava ocupada per altres tasques. Després de la simulació, el TEST TLX va mostrar una demanda mental alta, mentre que la seva puntuació en la performance i l'esforç va ser més baixa. En termes de demanda física i temporal, la seva càrrega va ser gairebé inapreciable.

En canvi, el **participant B**, també pilot amb més de 10.000 hores de vol, va expressar la seva inconformitat en realitzar diverses tasques al mateix temps, sentint-se estressat. Prefereix preparar-se i planificar les situacions amb antelació, sempre que sigui possible, per tenir temps de prendre decisions. Afirmar que sovint es fatiga quan es troba en situacions de molta pressió. Contràriament, en el test de multitasca, va obtenir unes de les puntuacions més altes, ja que va ser capaç de percebre totes les senyals, incloses aquelles que no eren les que inicialment l'exercici intentava captar l'atenció del participant (com la percepció de les estrelles). En el test TLX, va valorar la demanda mental, l'esforç i la temporal com les més altes, mentre que la demanda física i la performance van obtenir les puntuacions més baixes.

El **participant C**, recent graduat de CESDA amb aproximadament 250 hores de vol, s'autoavalua com una persona que sol gestionar bé diverses tasques i fins i tot es sent realitzat. Es pren les situacions com un repte per a ell mateix, però si troba dificultats, tendeix a exagerar la situació. Pren decisions ràpides, no sol donar-hi moltes voltes i, tot i que evita l'estrès, el gestiona molt bé, ja que troba la pressió motivadora. Això és verificable amb el seu test de multitasca, on va poder percebre les senyals, però no va identificar exactament la que l'exercici volia captar. Un factor destacable és que s'ha trobat anteriorment en situacions aeronàutiques simulades, la qual cosa podria haver contribuït a la seva confiança durant l'exercici. En el test TLX, va valorar la performance com a la puntuació més alta, seguida de la demanda temporal. La seva frustració i demanda física van ser molt poc percebudes per ell. Pel que fa a la simulació, el participant va mostrar una bona gestió de la velocitat i la maniobra en la simulació amb pilot automàtic. No obstant això, va presentar algunes dificultats en la gestió de les tasques sense el suport del pilot automàtic, especialment en el control de la verticalitat. Tot i això, la seva capacitat per gestionar els ascensos en la simulació sense ajudes va millorar progressivament, però la manca de precisió en els paràmetres verticals va continuar sent un punt feble. Aquestes dificultats es van fer més evidents a mesura que l'exercici es va tornar més exigent.

El **participant D**, amb 60 hores de vol i el ATPL en procés, sol valorar la complexitat de les tasques i prioritzar-les, fet que li permet sentir-se còmode en situacions de multitasca. Inicialment, considera

que en situacions d'alta pressió pot reaccionar de manera impactada. Pren decisions ràpides, tot i que prefereix reflexionar-hi abans de prendre-les. Gestiona l'estrès de manera generalment eficaç. En el test de multitasca, no va assolir satisfactòriament els reptes, sense percebre cap de les senyals o informació induïda, ni a nivell visual ni auditiva. En el test TLX, la seva demanda mental, l'esforç i la frustració van obtenir una puntuació alta, mentre que la seva performance va ser la que va gestionar amb més facilitat. En la simulació, tot i no complir amb les maniobres en diverses fases, el participant D va aconseguir millorar la gestió de la velocitat i d'alguns altres paràmetres. Encara que va mostrar una manca de consistència en les simulacions sense el suport del pilot automàtic, va destacar en la capacitat per mantenir els paràmetres de velocitat dins d'un rang acceptable. No obstant això, va experimentar dificultats significatives en el control de les tasques quan les condicions es van complicar, com es va observar durant els ascensos sense el suport del pilot automàtic.

El **participant E**, amb 110 hores de vol, considera l'estrès com un factor moderadament beneficiós i sol percebre les situacions complexes com a controlades. Valora les situacions en què se sent ocupat i es troba còmode amb la càrrega de tasques. Va percebre les figures del test de multitasca, tot i que no va poder identificar el nombre exacte de les figures. En general, va mostrar bones qualitats en el test, tot i que va valorar la seva performance com la més complexa, seguida de la càrrega mental i l'esforç, amb la frustració a un nivell molt baix. En la simulació, el participant E va mostrar dificultats importants per mantenir l'adequada verticalitat i velocitat durant les fases de la simulació sense el suport del pilot automàtic. Tot i que va aconseguir complir amb certs paràmetres com la velocitat, els seus resultats van ser menys consistents que els dels altres participants. A mesura que les condicions es van fer més exigents, la seva capacitat per mantenir els paràmetres essencials es va veure considerablement afectada, amb múltiples dificultats en la gestió de les maniobres, la qual cosa va generar una càrrega cognitiva important.

El **participant F**, amb 77 hores de vol i el PPL en procés, es considera a ell mateix com un perfil multitasca i es sent satisfet quan està ocupat. Pren decisions basant-se en la seva experiència, tot i que es nota que li costa més decidir en tasques quotidianes. En el test de multitasca, no va percebre cap senyal, però va mostrar agilitat en canviar de condicions en el test de figures i colors. La demanda mental va ser la més difícil per a ell, seguida de la temporal, mentre que la frustració i la demanda física van ser poc notables.

El **participant G**, sense cap tipus d'experiència prèvia en vol, va afirmar que amb tasques rutinàries es troba tranquil, però amb tasques més complexes i concurrents potser es sent estressat. Planifica les seves accions segons les prioritats i es concentra en assolir els objectius de manera satisfactòria. Sap separar les decisions i reaccionar més ràpidament en situacions de curt termini. Tot i que no va percebre les senyals auditives del test, va aconseguir completar el test de multitasca de manera satisfactòria. La demanda mental, la performance i l'esforç van ser valorats com els més alts, amb la mateixa puntuació, mentre que la demanda física va ser la menys notable. En la simulació, va mostrar una gran capacitat per complir amb les tasques més senzilles, com la velocitat, però va tenir dificultats en controlar les fases de l'ascens i la verticalitat. La seva manca d'experiència va ser un desavantatge evident, però la seva adaptabilitat li va permetre completar les tasques de manera eficient en les fases més bàsiques de la simulació. En la fase sense ajudes, la seva incapacitat per mantenir els paràmetres bàsics va posar en evidència la necessitat d'un entrenament addicional per a gestionar tasques en situacions complexes.

Curiosament, en els testos de multitasca, no es van observar diferències significatives en el rendiment entre pilots experimentats i aquells sense experiència. Això suggereix que, tot i que els pilots han estat formats per volar i gestionar una màquina en situacions concretes, no necessàriament han estat entrenats de manera específica en termes de multitasca. El seu entrenament es basa en la familiaritat amb les situacions específiques del vol, més que en la capacitat de gestionar múltiples tasques a la vegada de manera conscient i eficient.

En termes de simulació, les puntuacions van resultar sorprenentment similars entre els participants, amb una millora evident a mesura que es repetien els exercicis. La repetició i la familiarització amb l'entorn del simulador va provocar un increment significatiu de la confiança en la tasca, cosa que va permetre als participants millorar la seva gestió de les diverses tasques. Tanmateix, els pitjors resultats

es van obtenir en el primer exercici de cada fase, probablement com a conseqüència de la manca de coneixement previ de les condicions i de la naturalesa de les tasques. A mesura que les tasques es tornaven més complexes i els participants acumulaven experiència en la simulació, els resultats van començar a reflectir una millor gestió de les condicions prèvies. No obstant això, la incorporació de noves condicions i circumstàncies va generar de nou errors, com a resultat de l'adaptació a les noves demandes. A mesura que es van afegir més condicions, les habilitats ja apreses en simulacions anteriors van començar a quedar més de costat, ja que els participants es van veure obligats a adaptar-se ràpidament a les noves situacions, posant més èmfasi en la gestió de les tasques imprevistes en lloc de les ja conegudes.

5.3.1. Validació d'hipòtesis

Com en qualsevol començament, la revisió bibliogràfica és un pas fonamental. S'ha constatat que hi ha molt pocs estudis que avaluïn competències no tècniques en simuladors de vol aplicats a perfils sense experiència o amb molt poca experiència aeronàutica. Identificar aquesta mancança permetria aprofundir en el coneixement cognitiu dels beneficis dels simuladors, tant per a la formació com per a una possible aplicació en altres àmbits, especialment pel que fa als factors cognitius.

Aquest estudi es va centrar en una nova visió sobre com els simuladors de vol poden influir en el desenvolupament de competències cognitives clau, com la capacitat de fer diverses tasques a la vegada i la presa de decisions ràpides, especialment en joves sense experiència prèvia en aviació. Els resultats obtinguts han confirmat en gran mesura les hipòtesis plantejades al principi, tot i que també han revelat aspectes imprevistos que aporten una perspectiva més àmplia sobre el potencial d'aquests entrenaments més enllà de l'àmbit aeronàutic.

Un dels aspectes més destacats va ser la confirmació de la nostra hipòtesi inicial, que proposava que l'exposició al simulador d'A320 milloraria la capacitat de gestionar tasques simultànies i la presa de decisions. Tot i que els participants sense experiència prèvia van tenir dificultats inicials, les repeticions i l'acostament progressiu als escenaris de simulació van generar una millora notable. Un exemple clar és el cas del participant G, que, tot i no tenir experiència en vol, va millorar la seva capacitat per gestionar la velocitat i la maniobra a mesura que avançaven les sessions. Aquest fet es va reflectir tant en els resultats quantitatius dels testos de multitasca com en les respostes qualitatives dels participants, que van indicar un augment de la confiança i la percepció de la seva capacitat per afrontar situacions d'estrès. Això valida les hipòtesis H1 i H2, demostrant que la simulació pot millorar la multitasca i la presa de decisions, fins i tot en joves sense formació aeronàutica prèvia.

Tanmateix, aquesta aplicabilitat als altres àmbits no es va verificar completament durant l'estudi, ja que ens falta una aplicació directa en aquests contextos específics per poder determinar si realment és cert. Això vol dir que, tot i que la hipòtesi H3, que suggeria que els entrenaments amb simuladors podrien ser transferibles a altres àmbits que requereixen habilitats similars, va ser recolzada per algunes respostes, no disposem de dades suficients per verificar completament aquesta transferència d'habilitats a sectors com la medicina d'emergència. Per tant, caldrà més investigació i aplicació directa en aquests altres àmbits per determinar si els simuladors de vol poden ser efectivament útils per entrenar habilitats cognitives essencials, com la presa de decisions ràpides i la gestió de l'estrès en entorns de pressió com els de la medicina d'emergència.

Pel que fa als resultats relacionats amb la hipòtesi H4, que analitzava la percepció dels participants sobre les seves pròpies capacitats, es pot afirmar que aquesta es verifica. S'observa una millora significativa en la percepció personal dels participants, especialment en termes de confiança i motivació. Mentre que els resultats tècnics indicaven un progrés en la capacitat per executar tasques de manera més eficient, les respostes qualitatives reflectien que molts participants se sentien més segurs després de cada sessió de simulació. Per exemple, el participant C va expressar que la simulació l'havia ajudat a sentir-se més motivat a l'hora de prendre decisions ràpides, ja que la pressió experimentada durant l'exercici va esdevenir un estímul positiu, més que no pas una font de bloqueig. Aquest fet suggereix que els simuladors de vol poden tenir un paper rellevant no només en el

desenvolupament de competències tècniques, sinó també en la millora de la motivació intrínseca i de l'autoestima dels usuaris.

Tots els participants van indicar, a través dels qüestionaris, que consideren la simulació un mètode de formació molt efectiu, especialment quan no forma part del sistema habitual amb què estan acostumats a treballar. Aquesta metodologia els exposa a situacions on es veuen obligats a desenvolupar habilitats específiques, com ara la presa de decisions ràpides o la gestió d'emergències inesperades. En general, opinen que la simulació pot contribuir significativament a la formació i que les habilitats adquirides poden ser transferides a altres àmbits de la vida quotidiana.

La comparació amb pilots experimentats també va permetre identificar les habilitats més intuïtives, però alhora va revelar que, fins i tot, els professionals amb experiència poden enfrontar-se a dificultats quan es modifiquen les condicions de vol o s'introdueixen noves variables. També destacant la seva participació en un model de simulador mai utilitzat, va ser resultant de generar una sensació de menor confiança en alguns pilots, malgrat la seva àmplia experiència. Sovint es mostraven inclinats a relacionar el funcionament del simulador amb sistemes que els eren familiars, cosa que posa de manifest com la familiaritat amb l'equip i el context influeix directament en el seu grau de seguretat i en la presa de decisions. Un exemple il·lustratiu és el del participant D, amb 60 hores de vol, que va mostrar una gran capacitat per prioritzar tasques en escenaris coneguts, però va tenir dificultats en la gestió de tasques complexes sense l'ajuda del pilot automàtic. Aquest fet posa de manifest que la formació contínua és essencial, ja que fins i tot els pilots experimentats necessiten adaptar-se constantment a nous entorns per mantenir i millorar el seu rendiment.

Per últim, es va intentar establir un entorn òptim per als participants a través d'un vídeo relaxant, amb l'objectiu de preparar-los mentalment per a la simulació. Aquesta pràctica pretenia condicionar amb una condició inicial què els participants estiguessin relaxats i enfocats, per tal d'optimitzar la seva capacitat de processar els estímuls durant l'experiment. D'aquesta manera, es va proporcionar una base psicològica adequada als participants abans de començar la simulació, maximitzant la seva capacitat per afrontar els desafiaments cognitius. No obstant això, aquest enfocament difereix considerablement de la realitat a la qual s'enfronten els pilots quan entrenen en un simulador o quan volen en una cabina real. Els pilots, tant en simuladors com en vols reals, no es troben en un estat relaxat abans d'iniciar; al contrari, sovint es veuen immersos en situacions d'estrès i pressió des del moment que entren a la cabina. La reacció immediata del cos és una resposta automàtica a l'entorn altament dinàmic i a les múltiples tasques que cal gestionar simultàniament. Aquesta càrrega cognitiva i emocional és molt més intensa que la que es va generar en l'estudi amb els participants no experimentats, on l'objectiu era assegurar que estiguessin preparats mentalment per afrontar els estímuls. Això posa en evidència la diferència entre controlar l'estat mental en un entorn relaxat i la necessitat de gestionar el desafiament cognitiu i emocional real que s'experimenta quan es troben en una situació de vol o simulació, on no hi ha temps ni condicions per preparar-se de la mateixa manera.

Fora del context principal del treball, també vam poder reflexionar sobre una diferència clau observada entre els perfils participants. Mentre que els joves sense experiència prèvia van poder beneficiar-se d'un entorn tranquil i controlat per preparar-se mentalment abans de la simulació, en el cas dels pilots experimentats, la realitat operativa és molt més intensa, ràpida i dinàmica. Per aquest motiu, la presència continuada d'un psicòleg al llarg del procés d'entrenament aeronàutic esdevé fonamental. Aquest suport pot contribuir de manera decisiva a regular l'estat mental dels pilots, ajudant-los a mantenir la concentració, gestionar l'estrès de manera eficaç i prendre decisions encertades en entorns d'alta complexitat i amb múltiples fonts d'estímul, on la sobrecàrrega cognitiva és un risc real i constant.

5.3.3. Limitacions de la mostra

Una de les limitacions principals d'aquest estudi ha estat la durada i la continuïtat de les sessions de simulació. Tot i que els resultats obtinguts són valuosos, es fa evident que la repetició i la pràctica en un període de temps més llarg podrien aportar dades més concretes sobre la millora dels participants en el maneig de la multitasca i la presa de decisions. A mesura que els participants es familiaritzin més

amb els escenaris i les tasques, és probable que els beneficis del simulador siguin més evidents. Per tant, una ampliació de la durada de les sessions i la continuïtat en el temps permetria observar si els participants poden assolir un millor rendiment i una adaptació més eficient a les condicions de pressió.

Una altra limitació de la mostra rau en la diversitat dels perfils dels participants. Tots els participants eren homes, amb edats compreses entre els 22 i els 65 anys, la qual cosa limita la generalització dels resultats. Aquesta manca de representació femenina i la concentració en un únic gènere pot influir en els resultats, ja que la percepció de l'estrès, la gestió de la càrrega cognitiva i la presa de decisions poden variar segons factors com el gènere, l'edat o les experiències prèvies. A més, el fet de no incloure a un major nombre de participants més joves o d'edat més avançada també restringeix la capacitat d'analitzar com aquestes variables afecten en l'entorn.

Tot i que es va incloure una mostra que abastava joves sense experiència aeronàutica, és important destacar que, encara que aquests participants no tenien formació prèvia, molts d'ells compartien una certa passió pel sector aeronàutic o es dedicaven d'alguna manera a àrees relacionades, com l'enginyeria aeronàutica o altres camps tècnics. Això podia influir en la seva motivació i en la manera en què van afrontar les simulacions. Tanmateix, l'estudi es beneficiaria d'una diversitat més gran de participants, que inclogués perfils amb més o menys experiència, així com persones amb altres habilitats o procedències professionals. Aquest enfocament permetria comparar els resultats entre grups amb nivells d'experiència variats i determinar si les respostes als simuladors són influenciades per factors com la formació prèvia, l'interès personal pel sector o altres característiques individuals.

A més, una altra limitació important és la manca d'aplicacions concretes en altres àmbits que requereixin habilitats cognitives similars. Tot i que es va plantejar la possibilitat que els simuladors poguessin ser útils en sectors com la medicina d'emergència o altres àrees d'alt rendiment, no s'ha pogut contrastar aquesta aplicabilitat amb suficient profunditat. Són necessàries més investigacions i aplicacions específiques per poder determinar si els entrenaments amb simuladors de vol poden ser útils en aquests altres contextos professionals que també exigeixen una gestió eficient de la multitasca i la presa de decisions ràpides.

Finalment, la limitació de la mostra pel que fa a la diversitat de perfils i la necessitat de més sessions de simulació fa que sigui essencial continuar amb estudis posteriors que permetin obtenir una visió més àmplia de l'impacte de la simulació de vol en el desenvolupament de les habilitats cognitives en escenaris d'alta pressió. Els resultats preliminars obtinguts fins ara són prometedors, però cal un aprofundiment més exhaustiu per confirmar la seva aplicabilitat en diversos contextos i per una varietat més àmplia de perfils professionals.

6. CONCLUSIONS

Aquest estudi es va proposar explorar el potencial dels simuladors de vol, tradicionalment orientats a l'entrenament tècnic, com a eina formativa per al desenvolupament d'habilitats cognitives i emocionals en joves amb poca o nul·la experiència aeronàutica. L'objectiu era determinar si l'exposició progressiva a escenaris simulats d'alta exigència podia millorar competències com la multitasca, la presa de decisions ràpides, la gestió del temps i l'autoregulació emocional.

Els resultats obtinguts, tant a través dels tests objectius com de les autoavaluacions i observacions qualitatives, han mostrat que els simuladors poden tenir un impacte significatiu en el rendiment cognitiu i en la percepció d'eficàcia personal dels participants. El test IMMAK va reflectir una millora en la percepció de la pròpia capacitat d'organització i gestió de tasques, mentre que el NASA-TLX va evidenciar una càrrega mental elevada, però equilibrada per una bona valoració del rendiment i uns nivells de frustració moderats. Aquestes dades suggereixen que, malgrat l'absència d'experiència prèvia, els participants van experimentar un procés de familiarització ràpida i adaptació progressiva a l'entorn simulat.

Un dels aspectes més destacats va ser l'observació que la retirada d'ajudes automatitzades en el simulador (com el pilot automàtic) va suposar un increment notable de la càrrega cognitiva i una demanda més alta d'atenció dividida i autogestió. A més, els resultats del test de multitasca van revelar limitacions generals en l'atenció selectiva, especialment pel que fa a la detecció d'estímuls inesperats, confirmant la necessitat d'un entrenament específic en la gestió d'estímuls simultanis en entorns dinàmics. La comparació entre participants amb i sense experiència va permetre detectar diferències rellevants: mentre que els veterans es recolzen en rutines i coneixements previs però mostren més resistència a entorns desconeguts, els novells presenten una major flexibilitat cognitiva, capacitat d'adaptació i predisposició a l'aprenentatge. Aquesta observació qüestiona la idea que habilitats com la intuïció tàctica o la gestió de la pressió siguin exclusives dels perfils experts, i apunta al valor d'entorns formatius immersius per desenvolupar aquestes capacitats des de fases inicials.

Tot i que el projecte s'ha centrat en un context aeronàutic, els resultats obtinguts apunten cap a un possible ús transversal de la simulació en altres àmbits d'alta exigència cognitiva, com ara la medicina d'emergència, la formació docent o la gestió de crisis. Les millores observades en la gestió del temps, la presa de decisions sota pressió i la capacitat d'atenció sostinguda suggereixen que la simulació podria esdevenir una eina útil en aquests entorns. No obstant això, aquesta transferència no ha estat verificada empíricament en aquest estudi, ja que no es van aplicar les sessions fora de l'àmbit aeronàutic.

El treball també ha posat de manifest diverses limitacions. En primer lloc, la mostra va ser reduïda i poc diversa, amb participació exclusiva d'homes i un ventall d'edats limitat. En segon lloc, la durada de les sessions i l'absència de seguiment longitudinal dificulten l'establiment de conclusions sobre l'impacte a llarg termini. Finalment, tot i que els resultats qualitius són valuosos, caldria un enfocament experimental més robust, amb grups control i mesures fisiològiques, per consolidar les troballes.

A partir d'aquests resultats, es proposen diverses línies de treball per al futur. Seria interessant ampliar la mostra i diversificar els perfils, estendre la durada dels entrenaments i desenvolupar estudis longitudinals que permetin avaluar l'evolució del rendiment en el temps. A més, aplicar aquesta metodologia en sectors com la medicina, la seguretat o l'educació permetria comprovar la transferència d'habilitats i valorar l'eficàcia del simulador com a eina formativa transversal. També es recomana incorporar la valoració d'indicadors fisiològics i tecnologies com *l'eye-tracking* o l'anàlisi de variabilitat cardíaca per aprofundir en la comprensió dels processos cognitius i emocionals implicats. Concloent així que, fins i tot sense haver volat mai, es pot entrenar el que realment importa: l'atenció, la calma i la decisió en moments crítics.

Bibliografia

- [1] M. Martinussen i D. R. Hunter, «Aviation Psychology and Human Factors,» *CRC Press*, vol. 2, 2017.
- [2] A. Parnandi, C. Dike, D. Jolls, L. Pham i R. Gutierrez-Osuna, «Evaluating mental workload during multitasking in simulated flight using fNIRS and ECG.,» 2022. [En línia]. Available: DOI: 10.1002/brb3.2489.
- [3] D. Tiwari, R. Arora, M. Dangi i S. Sharma, «Impact of task difficulty on multitasking in mixed reality environments,» *Computers & Education: X Reality*, 2024.
- [4] Administration, Federal Aviation, «The history of aviation safety and the evolution of safety culture,» 2003. [En línia]. Available: <https://www.iata.org/contentassets/4d18cb077c5e419b8a888d387a50c638/iata-safety-report-2003.pdf>.
- [5] Hangar 10, «Hangar 10 - Empresa col·laboradora del projecte,» [En línia]. Available: <https://www.hangar10.es/>.
- [6] D. Baghino y N. Marchin, «Psicología Aeronáutica i factors humans: Una perspectiva històrica,» *Revista de Història de la Psicologia*, vol. 44, n° 2, pp. 28-36, 2023.
- [7] A. Bellenkes, C. D. Wickens i A. F. Kramer, «Visual scanning and pilot expertise: The role of attentional flexibility and mental model development.,» *Aerospace Medical Association.*, 1997.
- [8] A. Modesto, «La psicología aeronáutica. Desarrollos actuales. Contribuciones a la prevención de accidentes,» *Aviation psychology. Current developments. Contributions to accident prevention*, 1997.
- [9] M. M i D. Hunter, «Aviation psychology and human factors,» *Boca Raton: CRC Press.*, vol. 2, 2018.
- [10] A. Modesto M, «La Psicología Aeronáutica y su Contribución a la Seguridad Aeroespacial,» *Revista Argentina de Psicologia*, vol. 52, 2013.
- [11] AVSAF - Formación Aeronáutica, «El modelo Shell,» 2023. [En línia]. Available: <https://avsaf.es/post/el-modelo-shell/>.
- [12] L. Wenbin, L. Rong, X. Xiaoping i C. Yaoming, «Evaluating mental workload duringmultitasking in simulated flight,» *Brain and Behavior Wiley*, 2021.
- [13] A. Gonzalez Marin, *Consecuencias en la Salud Psicológica de la Instrucción de Vuelo: Estudio de una Muestra de Alumnos e Instructores Militares*, Universidad de Murcia, 2015.
- [14] AVSAF, «Introducción a los Factores Humanos,» 2024. [En línia]. Available: <https://avsaf.es/post/introduccion-factores-humanos/>.
- [15] Bureau of Enquiry and Analysis for Civil Aviation Safety (BEA), «Final report on the accident on 24 March 2015 to the Airbus A320-211 registered D-AIPX operated by Germanwings, flight GWI18G, near Prads-Haute-Bléone (Alpes-de-Haute-Provence, France).,» 2016. [En línia]. Available: https://bea.aero/uploads/tx_elydbrapports/BEA2015-0125.en-LR.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- [16] L. G. Barron i M. Rose, «Multitasking as a Predictor of Pilot Performance: Validity Beyond Serial Single-Task Assessments,» *Military Psychology*, vol. 29, núm. 4, pp. 316-326, 2017.
- [17] E. Rosa, «Pilots' decision-making, emotions and cognitive performance in simulated environments,» *Doctoral Thesis*, 2021.
- [18] Pilot Workload, «Skybrary Pilot Workload,» 2021. [En línia]. Available: <https://skybrary.aero/articles/pilot-workload>.

- [19] C. Webb M, S. Gaydos J, A. Estrada i L. Miliam, «Toward an Operational Definition of Workload: A Workload Assessment of Aviation Maneuvers,» *United States Army Aeromedical Research Laboratory*, vol. 15, 2010.
- [20] E. E. Center, «Adaptation of Workload Model By Optimisation Algorithms and Sector Capacity Assessment,» vol. 07/05, 2005.
- [21] F. Bezerra i S. Ribeiro, «Preliminary study of the pilot's workload during emergency procedures in helicopters air operations,» 2012. [En línia]. Available: DOI: 10.3233/WOR-2012-0161-225.
- [22] M. Subirats Ferrer, «El estrés en el alumno de vuelo,» 2020. [En línia]. Available: <https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/c9b4ddf4-14cc-471d-8df3-85fac4d7b042/content>.
- [23] I. Bombin, A. Cifuentes Rodriguez, G. Climent i U. Diaz Orueta, «Ecological validity and multitasking environments in the evaluation of the executive functions,» *Revista de Neurología*, pp. 77-87, 2014.
- [24] C. Alonso, «Psicología del trabajo y de las organizaciones,» *UNED*, 2012.
- [25] H. Leimann Patt, L. Sager, M. M. Alonso i I. E. Insua, «CRM. Una Filosofía Operacional. Gerenciamiento de los Recursos Humanos en las Operaciones Aeronáuticas,» *Interamericana de Psicología Aeronáutica*, 1998.
- [26] L. D Loukopoulos, K. Dismukes i I. Barshi, «The Perils of Multitasking,» *Flight Safety Foundation Human Factors*, 2009.
- [27] X. Prats Mendez, «Aplicació dels simuladors de vol en l'aprenentatge de l'enginyeria aeronàutica,» *UPC*, 2002.
- [28] M. R. Endsley i E. O. Kiris, «The out of the loop performance problem and level of control in automation, Human Factors,» vol. 37, 1995.
- [29] A. Castro, «Comportamiento multitarea e implicaciones neurocognitivas,» 2015. [En línia]. Available: <https://www.neuropsicologiahuc.com.ve/seminarios/Comportamiento%20multitarea.pdf>.
- [30] G. A. Vargas Galván, J. E. Díaz Figueroa i H. A. Chaparro Alvarado, «Simulación de vuelo policial: entrenamiento para situaciones críticas,» *Revista de seguridad y operaciones aéreas.*, vol. 15, núm. 23-34, 2021.
- [31] G. A. Vargas Galvan, J. E. Diaz Figueroa i H. A. Chaparro Alvarado, «Simuladores de Vuelo como estrategia didáctica y pedagógica en la escuela de aviación policial,» *Dirección Nacional de Escuelas de la Policía Nacional de Colombia*, núm. <https://doi.org/10.22335/EDNE.44>, 2021.
- [32] V. Socha, L. Socha, S. Szabo, K. Hana, J. Gazda, M. Kimlickova, I. Vajdova, A. Madoran, L. Hanakova, V. Nemec, T. Puskas, J. Schlenker i R. Rozenberg, «Training of pilots using flight simulator and its impact on piloting precision,» *Proceedings of the 20th International Scientific Conference Transport Means*, 2016.
- [33] L. C. Villamil, E. J. Avella i J. A. Tenorio, «Simuladores de vuelo:una revisión,» 2018. [En línia]. Available: doi: 10.18667/cienciaypoderaaereo.606.
- [34] L. Montalvo, J. Paredes i M. Rojas, «Simulación y entrenamiento bajo presión: aplicación en jóvenes pilotos,» *Revista de psicología aplicada*, vol. 36, pp. 77-91, 2021.
- [35] Rumbo Aeronáutico, Últimos Avances en Simuladores de vuelo, 2024. [En línia]. Available: <https://www.rumboaeronautico.com/2024/04/ultimos-avances-en-simuladores-de-vuelo.html>.
- [36] Q. Kennedy, J. L. Taylor, G. Reade i J. A. Yesavage, «Age and expertise effects in aviation decision making and flight control in a flight simulator,» *Aviation Space and Environmental Medicine.*, núm. 81, pp. 485-497, 2010.
- [37] EDUTEC, «El uso de simuladores en la educación: Una herramienta para el aprendizaje significativo,» *Revista electrónica de tecnología educativa*, vol. 48, núm. 1-13, 2014.

- [38] M. Martinussen i D. Hunter, «Aviation Psychology and Human Factors,» *Boca Raton: CRC Press*, 2018.
- [39] A. Douglas i T. McMichael, «The Effect of Gaming on Novice Pilots,» *Symposium of Student Scholars*, núm. 334, 2022.
- [40] D. H. Urgilés-Quintuña, D. G. García-Herrer, J. C. Erazo-Álvarez i C. I. Narvaez Zurita, «Análisis del training syllabus aplicado en el simulador de vuelo del Airbus A320,» *Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, vol. 1, 2020.
- [41] B. Walsh, «Google's Jigsaw introduces VR simulator for police de-escalation,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.axios.com/2021/10/26/google-jigsaw-vr-police-trainer>.
- [42] D. C. Classen, «Flight simulator tool to monitor medications in electronic health records,» 2021. [En línea]. Available: https://www.research.va.gov/research_in_action/Flight-simulator-tool-to-monitor-medications-in-electronic-health-records.cfm?utm_source=chatgpt.com.
- [43] B. Verkennis, E. van Weelden, F. L. Marogna, M. Alimardani, T. J. Wiltshire i M. M. Louwerse, «Predicting Workload in Virtual Flight Simulations using EEG Features (Including Post-hoc Analysis in Appendix),» 2023. [En línea]. Available: DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.12428>.
- [44] E. van Weelden, C. W. E. van Beek, M. Alimardani, T. J. Wiltshire, W. D. Ledegang, E. L. Groen i M. M. Louwerse, «Differentiating Workload using Pilot's Stick Input in a Virtual Reality Flight Task,» 2023. [En línea]. Available: DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.09619>.
- [45] H. Leimann, M. Alonso, J. Mirabal i L. Sager, «CRM: Una filosofía operacional,» *Sociedad Interamericana de Psicología Aeronáutica*, 1998.
- [46] C. Bonanad, J. Bañeras, H. Merenciano i D. Gonzalez Calle, «Impacto emocional de un programa pionero de simulación médica avanzada para residentes de cardiología: más allá de las habilidades técnicas. Science direct,» 2022. [En línea]. Available: DOI: <https://10.1016/j.rccl.2022.07.004>.
- [47] P. Gastaldi, «SIMZINE - Las emociones en simulación,» 2024. [En línea]. Available: <https://simzine.news/es/experience-es/las-emociones-en-simulacion/>.
- [48] Z. Jiang, «Emotional Simulation in Game AI its Impact on Playet Experience,» 2024. [En línea]. Available: DOI: 10.54097/pbhsqy34.
- [49] A. Baddeley, «Working memory: looking back and looking forward,» *Nature Reviews Neuroscience*, 2003.
- [50] U.S. Air Force Research Laboratory, «USAFSAM – FCI Medical Flight Screening,» Air Force Research Laboratory,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.afrl.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Fact-Sheet-Display/Article/2336839/usafsam-fci-medical-flight-screening/>.
- [51] D. Simons Chrabris, «Selective Attention Test,» 1999. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=vJG698U2Mvo>.
- [52] T. Oron-Gilad, J. L. Szalma, S. C. Stafford i P. A. Hancock, «The Workload and Performance Relationship in the Real World: A Study of Police Officers in a Field Shooting Exercise,» 2008. [En línea]. Available: DOI: 10.1080/10803548.2008.11076757.
- [53] C. M i S. J Gaydos, «Toward an Operational Definition of Workload: A Workload Assessment of Aviation Maneuvers,» *United States Army Aeromedical Research Laboratory*, núm. 15, 2010.
- [54] W. Li, R. Li, X. Xie i Y. Chang, «Evaluating mental workload during multitasking in simulated flight,» *Brain and Behavior Wiley*, 2021.

Annexos

Annex A - Preguntes Autoavaluació 1: Test IMMAK

Autoavaluació 1 - TEST IMMAK	
1.	Em sento còmode/a fent diverses tasques alhora (per exemple, parlar per telèfon mentre faig tasques o treball).
2.	Em resulta difícil organitzar les meves tasques diàries de manera eficient a causa de les moltes responsabilitats que tinc.
3.	Prefereixo fer les coses jo mateix/a abans que delegar tasques a altres.
4.	Em resulta difícil desconnectar mentalment de les tasques pendents, fins i tot quan estic en moments de descans.
5.	Generalment, planifico bé el meu dia i no tinc problemes per complir amb les tasques previstes.
6.	Sovint sento que no tinc temps per gaudir d'activitats recreatives a causa de la meva agenda ajustada.
7.	Em sento incòmode/a si he de quedar-me sense fer res durant un temps.
8.	Prefereixo concentrar-me en una sola tasca a la vegada i no fer diverses coses simultàniament.
9.	Em sento més productiu/a que altres persones, ja que solc tenir moltes activitats en marxa alhora.
10.	Solc revisar i assegurar-me que les tasques delegades a altres siguin realitzades correctament.
11.	Prefereixo acabar una tasca completament abans de començar una altra.
12.	Generalment sobrestimo el temps que puc trigar a acabar una tasca.
13.	Em resulta difícil dir “no” quan algú em demana que faci alguna cosa més, encara que ja tingui moltes tasques.
14.	Prefereixo seguir el meu pla establert, tot i que puguin sorgir imprevistos.
15.	Em distrec fàcilment de les tasques importants quan sorgeixen altres activitats.
16.	Intento minimitzar les interrupcions quan estic treballant en alguna cosa important.
17.	Prefereixo fer tot el que haig de fer avui, en lloc de deixar-ho per demà.
18.	M'agrada mantenir-me ocupat/da constantment, passant ràpidament d'una tasca a una altra.

Annex B – Qüestionari opinió Pre-Simulació

1. Com et sents normalment quan has de realitzar diverses tasques al mateix temps?
2. Quan t'enfrontes a situacions d'alta pressió, com haver de complir terminis o fer diverses coses alhora, com reaccions generalment?
3. A la teva vida quotidiana, sols prendre decisions ràpides o prefereixes prendre't el teu temps per pensar-les?
4. Com de còmode/a et sents gestionant l'estrès quan estàs en situacions de multitasca o pressió?
5. Creus que les simulacions de vol poden ajudar-te a millorar les teves habilitats per gestionar diverses tasques alhora?

Annex C – Respostes Qüestionari Pre-Simulació

1. Com et sents normalment quan has de realitzar diverses tasques al mateix temps?

A	Si no són molt complexes, bé.
B	Estressat.
C	Productiu i realitzat. En cas d'una sobrecàrrega de feina puc arribar a agobiar-me, però no acostuma a passar.
D	Valoro la complexitat de les coses que he de fer en el mateix moment i prioritzo una mica més d'atenció en una sobre l'altre. Normalment em sento còmode.
E	Molt bé, estressat però m'encanta coordinar-me i estar sota pressió.
F	Satisfet pel fet d'estar ocupat.
G	Depèn de la dificultat, si són moltes tasques rutinàries i fàcils, tranquil. Si són moltes tasques i amb habilitats complicades, puc arribar a estressar-me una mica.

2. Quan t'enfrontes a situacions d'alta pressió, com haver de complir terminis o fer diverses coses alhora, com reaccions generalment?

A	Intento gestionar la pressió.
B	Tracto de preparar-me amb antelació i planifico la situació si es possible.
C	Sí soc capaç de realitzar-les satisfactòriament m'ho prenc com un repte. Si hi trobo dificultats tinc tendència a fer-ne un gra massa.
D	De primeres, pot ser, que impactat.
E	Molt bé, sempre hi ha moments que estic més estressat que d'altres però em sento productiu i sobretot que tinc les coses sota control.
F	De manera tranquil·la i eficient per complir els terminis.
G	Mantenint la calma a la mida del possible i concentrant-me al màxim en assolir l'objectiu. Sovint establint prioritats i plans per fer bé la feina i a temps.

3. A la teva vida quotidiana, sols prendre decisions ràpides o prefereixes prendre't el teu temps per pensar-les?

A	Prefereixo pensar m'ho.
B	Prefereixo tenir temps per prendre la decisió.
C	Acostumo a prendre decisions ràpides.

D	Solen ser ràpides, però prefereixo pensar-les.
E	Depèn del tipus de decisió, en general les prenc ràpid en base a l'experiència, però en temes de menjar per exemple em costa molt decidir, quan haig de triar entre menjar una cosa o una altra, perquè m'agrada tot.
F	Prefereixo pensar-les.
G	Depèn de la transcendència de la decisió. Si és una decisió que tindrà un gran impacte a llarg termini, la medito. Si és poc important i a curt termini, no hi penso tant.

4. Com de còmode/a et sents gestionant l'estrès quan estàs en situacions de multitasca o pressió?

A	Intento controlar la incomoditat.
B	Em fatigo molt mentalment i necesito relaxar-me generalment a través del esport.
C	Intento evitar l'estrès, però el gestiono bé generalment; m'agrada tenir certa pressió.
D	Bastant bé generalment.
E	Molt bé, m'agrada la sensació, en general si no estic sota estrès m'aburreixo, sobretot a la feina. Ara bé en la vida quotidiana obviament el millor és estar tranquil, però a la feina tinc una necessitat de mantenir-me ocupat perquè em passin ràpid les hores.
F	Bastant còmode.
G	La comoditat depèn de la percepció que tingui sobre la importància i nivell de dificultat del que estigui fent.

5. Creus que les simulacions de vol poden ajudar-te a millorar les teves habilitats per gestionar diverses tasques alhora?

A	Per suposat.
B	Sí ho crec.
C	Sí.
D	Sí, rotudament.
E	Segur, el fet de coordinar tantes coses alhora ajuda moltíssim a controlar l'estrès, encara que el simuladors no tinguin res a veure amb tasques de la vida en general, el fet d'acostumar al teu cervell al nivell de concentració que requereix un simulador crec que aporta molt.
F	Sí.
G	Podria ser, encara que és un camp molt concret i no se si podria extrapolar-ho a altres situacions multitasca que es troben a la vida quotidiana.

Annex D - Preguntes Autoavaluació 2 : Test IMMAK Adaptat

1.	Em sento més capaç de realitzar diverses tasques alhora sense perdre eficiència, especialment si faig un ús més freqüent del simulador.
2.	Ara em sento més capaç d'organitzar les meves activitats diàries sense que les responsabilitats em sobrecarreguin.
3.	Sento que em resultaria més fàcil delegar tasques a altres persones quan és necessari, si utilitzo més sovint el simulador.
4.	Sento que podria desconnectar més i gaudir de moments de descans si fes un ús més freqüent del simulador.
5.	Penso que puc planificar millor el meu temps, prioritzant les tasques correctament i complint amb el programat, gràcies a l'ajuda del simulador.
6.	Ara sóc més conscient de la importància de dedicar temps a activitats recreatives, gràcies al simulador per organitzar el meu temps.
7.	Ara em sento més tranquil/a estant sense fer res, ja que sé que puc organitzar millor el meu temps si faig servir el simulador amb més regularitat.
8.	Em sento més còmode/a realitzant tasques de manera independent, sense la necessitat de fer diverses coses alhora.
9.	Percebo que el meu ritme de treball estaria més equilibrat, sense haver-me de comparar constantment amb els altres.
10.	Em noto més segur/a de delegar i confiar que les tasques es realitzin bé.
11.	Em resultaria més fàcil alternar entre diferents tasques sense perdre la concentració, gràcies a l'ús més habitual del simulador.
12.	Ara sóc més realista a l'hora d'estimar el temps necessari per completar una tasca, sense sobreestimar ni subestimar el temps.
13.	He après millor a dir "no" quan la meva càrrega de treball ja és alta, per evitar sobrecarregar-me de tasques, amb el suport del simulador.
14.	Podria ser més flexible per adaptar-me als imprevistos sense perdre el control de les meves activitats, si fes un ús més freqüent del simulador.
15.	Em sento menys distret/a de les meves tasques quan he de concentrar-me en alguna cosa important.
16.	Ara sóc més eficient a l'hora de gestionar les interrupcions mentre treballa en tasques importants, gràcies a l'ajuda del simulador.
17.	Sento que he après a gestionar millor el temps, i prefereixo no deixar tasques per a demà quan les puc fer avui.
18.	Podria ser més capaç de mantenir-me enfocat/da en les meves tasques sense sentir-me pressionat/da a estar ocupat/da tot el temps, gràcies a l'ús més freqüent del simulador.

Annex E – Qüestionari Opinió Post-Simulació

Per últim, les següents preguntes d'opinió post-simulació:

1. Com et vas sentir realitzant diverses tasques alhora durant la simulació de vol?
2. Creus que pots gestionar millor l'estrès després de participar en la simulació de vol? Perquè?
3. Penses que has millorat la teva capacitat per prendre decisions ràpides després de la simulació?
4. T'agradaria practicar més amb simuladors de vol per millorar la teva capacitat de multitasca i presa de decisions?
5. Com creus que les simulacions de vol poden ajudar-te a millorar les teves habilitats cognitives en situacions de pressió?
6. En quines àrees creus que encara podries millorar en termes de multitasca i presa de decisions després de la simulació?

Annex F - Respostes Qüestionari Post-Simulació

1. Com et vas sentir realitzant diverses tasques alhora durant la simulació de vol?

Participant	
A	Molt bé, pero al principi perdut ja que mai havia fet ús d'aquest model d'avió.
B	Emocionat.
C	Gràcies a la meva formació professional he estat entrenat per realitzar diverses tasques alhora. M'he sentit productiu.
D	Molt bé.
E	Molt bé, com que ja tenia coneixement de l'avió l'únic input d'estrès que tenia era el fet que no em coneixia el procediment en específic de sortida.
F	Còmode perquè ja estic acostumat a fer diverses tasques alhora.
G	A l'inici una mica perdut però al final prou bé, tranquil i entenent com funciona la pràctica.

2. Creus que pots gestionar millor l'estrès després de participar en la simulació de vol? Perquè?

Participant	
A	Sí, sobre tot si no es amb el que estàs acostumat a fer servir.
B	Sí, tot va de la ma.
C	Sí. Hi ha simulacions de vol on has de resoldre emergències com a pilot. Això ajuda a formar-te i traslladar-ho al teu dia a dia.
D	Sí, al haver practicat també sabia com anticipar-me.
E	Després d'una sessió dubto que hi hagi molt de canvi, però amb varies sessions estic segur que millora la gestió de l'estrès.
F	Em sento igual.
G	El puc gestionar millor en el context concret de la simulació, però potser no en un altre context.

3. Penses que has millorat la teva capacitat per prendre decisions ràpides després de la simulació?

Participant	
A	Sí, és la capacitat que més s'entrena.
B	Totalment.
C	Sí. També gràcies al multitasking i a les emergències.

D	Sí.
E	Després d'una sessió dubto que hi hagi molt de canvi, però amb varies sessions estic segur que serviria de molt a l'hora de prendre decisions ràpid. Però també crec que, com tot, el fet de prendre decisions depèn de l'experiència que tinguis en cada àrea.
F	Sí.
G	En el context de la simulació sí.

4. T'agradaria practicar més amb simuladors de vol per millorar la teva capacitat de multitasca i presa de decisions?

Participant	
A	Sí, veig un bon mètode.
B	Sí, a la llarga segur.
C	Sí.
D	Sí, molt.
E	Això segur, seria bona tècnica, i a més serveix per desconnectar, per mi es una tasca recreativa.
F	Sí.
G	Sí, ja que és un món que m'interessa i amb més pràctiques crec que pot tenir cert impacte en l'habilitat mental.

5. Com creus que les simulacions de vol poden ajudar-te a millorar les teves habilitats cognitives en situacions de pressió?

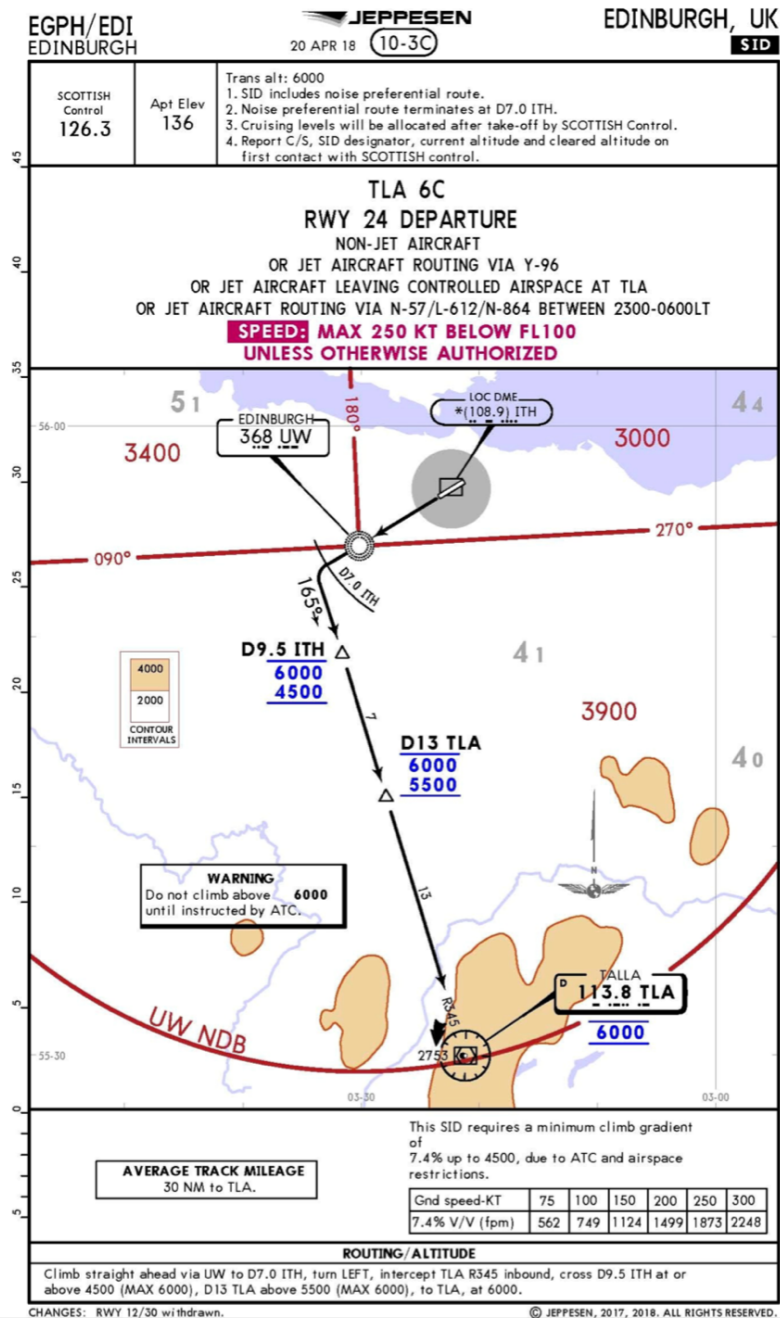
Participant	
A	Hi ha moltes situacions relacionades directament en prendre decisions ràpides segons els inputs que reps.
B	Canviant constantment d'escenaris i de procediments, intentar que no sigui mecànic.
C	Presa de decisions, pensar, CRM (Crew Resource Management).
D	Posant casos poc comuns amb alta demanda d'accions i diversitats.
E	Si, més o menys com la pregunta de millorar l'estrés, al final el fet d'estar gestionant tantes coses alhora serveix per estar més entrenat de cara a situacions que requereixin habilitats cognitives.
F	Has de prendre decisions en segons.

G	Aprendre a estar pendent de diverses tasques a l'hora, sempre que fes moltes més sessions.
---	--

6. En quines àrees creus que encara podries millorar en termes de multitasca i presa de decisions després de la simulació?

Participant	
A	En intentar poder fer més coses a la vegada, enfocant-ho a un dia a dia.
B	Aprenent d'altres models de simulació.
C	A vegades sento que vull fer-ho tot jo i oblidó la meua responsabilitat com a pilot flying/monitoring. Prefereixo no delegar les tasques als altres.
D	Fer escala de prioritats de les coses que passen en el moment.
E	Sobretot en el fet de poder treure tasques de sobre quan en tens moltes d'acumulades, el fet de veure que avances poc a poc frustra una mica a vegades
F	En moltes que els mateixos simuladors ens poden ajudar directament.
G	Podria millorar habituant-me més a les tasques concretes per no haver de corregir els inputs previs o oblidats a causa de la càrrega de treball.

Annex G – Pla de Vol a la Simulació



Annex H – *Check-list* completa per a l'avaluació de la simulació

ENLAIRAMENT		AUTO			NO AP			NO AP AT		
		-	OK	+	-	OK	+	-	OK	+
Des de la carrera d'enlairament fins a la retracció dels Flaps	MANIOBRA									
	DIRECCIÓ									
	ALÇADA									
	VELOCITAT									

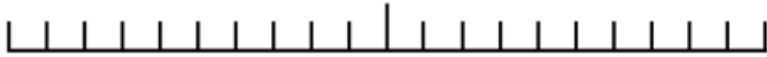
ASCENS INICIAL		AUTO			NO AP			NO AP AT		
		-	OK	+	-	OK	+	-	OK	+
Després de la retracció dels Flaps	MANIOBRA									
	DIRECCIÓ									
	ALÇADA									
	VELOCITAT									

ASCENS INTERMIG		AUTO			NO AP			NO AP AT		
		-	OK	+	-	OK	+	-	OK	+
Fins al VOR de TLA	MANIOBRA									
	DIRECCIÓ									
	ALÇADA									
	VELOCITAT									

ASCENS FINAL		AUTO			NO AP			NO AP AT		
		-	OK	+	-	OK	+	-	OK	+
Després del VOR de TLA	MANIOBRA									
	DIRECCIÓ									
	ALÇADA									
	VELOCITAT									

Annex I - Mètode NASA-TLX Utilitzat: Avaluació de la càrrega mental

Mental Demand How mentally demanding was the task?



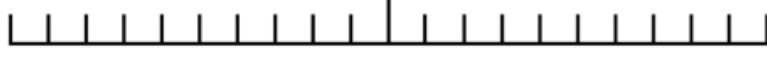
Very Low Very High

Physical Demand How physically demanding was the task?



Very Low Very High

Temporal Demand How hurried or rushed was the pace of the task?



Very Low Very High

Performance How successful were you in accomplishing what you were asked to do?



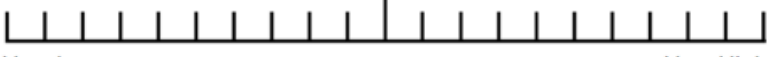
Perfect Failure

Effort How hard did you have to work to accomplish your level of performance?



Very Low Very High

Frustration How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?



Very Low Very High

Font: disponible a <https://www.nasa-tlx.com>, 2025