

Alba Sánchez Reverté

**SAFEWAY: DISSENY I DESENVOLUPAMENT D'UNA APLICACIÓ MÒBIL PER
A LA NAVEGACIÓ URBANA SEGURA DE VIANANTS**

TREBALL DE FI DE GRAU

**Carles Aliagas Castell
Clara Granell Martorell**

Doble grau en Enginyeria Informàtica i Biotecnologia



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2025

Resum

SafeWay és una aplicació mòbil innovadora dissenyada per millorar la seguretat personal en els desplaçaments a peu. A diferència dels planificadors de rutes convencionals, que prioritzen exclusivament la distància i el temps, SafeWay ofereix simultàniament tres alternatives: la ruta més ràpida, una d'equilibrada i la més segura. Les rutes es calculen a partir de dades reals extretes de Google Directions (mode *walking* amb alternatives) i d'un model de punts de risc simulats, que inclou factors com criminalitat, il·luminació deficient i zones amb alta sinistralitat, cadascun amb una severitat entre 1 i 10 i un radi d'afectació assignat (habitualment entre 50 i 200 metres segons el tipus de risc).

El projecte respon a una necessitat social creixent: dotar els vianants d'un sistema que els permeti desplaçar-se per entorns urbans amb més seguretat, especialment de nit o en barris desconeguts. La metodologia integra API's de Google, renderització cartogràfica amb Google Maps SDK² per a Flutter i un motor de càlcul de rutes que pondera temps, distància i exposició al risc. Per garantir traçats llegibles i professionals, s'apliquen algorismes de neteja de polilínies (*Ramer–Douglas–Peucker*, eliminació de llaços i *backtracks*, de duplicació i *spurs*).

A més, SafeWay incorpora funcionalitats addicionals com panells plegables amb informació contextual, un panell de seguretat amb recomanacions personalitzades, un botó d'emergència vinculat al 112, un historial local de rutes i guies bàsiques de navegació. Els resultats mostren que l'aplicació pot reduir substancialment l'exposició a zones de risc sense comprometre l'eficiència temporal ni la usabilitat.

El treball també identifica limitacions com la dependència de dades simulades i d'APIs externes, i proposa línies futures basades en dades oficials i contribucions comunitàries. SafeWay destaca per l'originalitat, el rigor tècnic i el potencial impacte en la seguretat ciutadana.

Paraules clau: seguretat urbana; navegació per a vianants; planificació de rutes; sistemes d'informació geogràfica (SIG); APIs de navegació; Flutter; aplicacions mòbils; ciutats intel·ligents; emergències urbanes.

¹ API (Application Programming Interface): conjunt de definicions i protocols que permeten que diferents aplicacions de software es comuniquin entre elles.

² SDK (Software Development Kit): conjunt d'eines de desenvolupament, biblioteques i documentació que permeten crear aplicacions per a una plataforma específica (per exemple, Android SDK o Maps SDK).

Resumen

SafeWay es una aplicación móvil innovadora diseñada para mejorar la seguridad personal en los desplazamientos a pie. A diferencia de los planificadores de rutas convencionales, que priorizan exclusivamente la distancia y el tiempo, SafeWay ofrece simultáneamente tres alternativas: la ruta más rápida, una equilibrada y la más segura. Las rutas se calculan a partir de datos reales extraídos de Google Directions (modo *walking* con alternativas) y de un modelo de puntos de riesgo simulados, que incluye factores como criminalidad, iluminación deficiente y zonas de alta siniestralidad, cada uno con una severidad entre 1 y 5 y un radio de afectación asignado (habitualmente entre 50 y 200 metros según el tipo de riesgo).

El proyecto responde a una necesidad social creciente: dotar a los peatones de un sistema que les permita desplazarse por entornos urbanos con mayor seguridad, especialmente de noche o en barrios desconocidos. La metodología integra APIs de Google, renderización cartográfica con Google Maps SDK para Flutter y un motor de cálculo de rutas que pondera tiempo, distancia y exposición al riesgo. Para garantizar trazados legibles y profesionales, se aplican algoritmos de limpieza de polilíneas (*Ramer–Douglas–Peucker*, eliminación de bucles y *backtracks*, de duplicación i *spurs*).

Además, SafeWay incorpora funcionalidades adicionales como paneles desplegable con información contextual, un panel de seguridad con recomendaciones personalizadas, un botón de emergencia vinculado al 112, un historial local de rutas y guías básicas de navegación. Los resultados muestran que la aplicación puede reducir sustancialmente la exposición a zonas de riesgo sin comprometer la eficiencia temporal ni la usabilidad.

El trabajo también identifica limitaciones como la dependencia de datos simulados y de APIs externas, y propone líneas futuras basadas en datos oficiales y contribuciones comunitarias. SafeWay destaca por su originalidad, rigor técnico y potencial impacto en la seguridad ciudadana.

Abstract

SafeWay is an innovative mobile application designed to improve personal safety during walking journeys. Unlike conventional route planners, which prioritize distance and time exclusively, SafeWay simultaneously offers three alternatives: the fastest route, a balanced one, and the safest. Routes are calculated using real data extracted from Google Directions (walking mode with alternatives) and a simulated risk-point model that includes factors such as crime, poor lighting, and high-accident areas, each defined by a severity level from 1 to 5 and an impact radius (typically ranging between 50 and 200 meters depending on the type of risk).

The project addresses a growing social need: providing pedestrians with a system that allows them to move through urban environments more safely, especially at night or in unfamiliar neighbourhoods. The methodology integrates Google APIs, cartographic rendering with Google Maps SDK for Flutter, and a routing engine that weighs time, distance, and risk exposure. To ensure readable and professional routes, polyline cleaning algorithms are applied (*Ramer–Douglas–Peucker*, loop and backtrack removal, deduplication, and *spurs*).

In addition, SafeWay includes extra features such as collapsible panels with contextual information, a safety panel with personalized recommendations, an emergency button linked to 112, a local history of routes, and basic navigation guides. The results show that the application can substantially reduce exposure to risk areas without compromising time efficiency or usability.

The work also identifies limitations such as dependence on simulated data and external APIs, and proposes future directions based on official data and community contributions. SafeWay stands out for its originality, technical rigor, and potential impact on citizen safety.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	12
2. CONTEXT I MOTIVACIÓ	13
3. ESTAT DE L'ART	14
4. OBJECTIUS I ABAST.....	15
4.1 OBJECTIU GENERAL.....	15
4.2 OBJECTIUS ESPECÍFICS.....	15
4.3 ABAST DEL PROJECTE	15
5. PLANIFICACIÓ I METODOLOGIA	16
5.1 METODOLOGIA DE TREBALL.....	16
5.2 GESTIÓ DEL RISC.....	17
6. REQUISITS	18
6.1 REQUISITS FUNCIONALS.....	18
6.2 REQUISITS NO FUNCIONALS	18
6.3 CASOS D'US PRINCIPALS	18
7. ANÀLISI I MODELATGE	20
7.1 ANÀLISI DE REQUISITS.....	20
7.2 ACTORS I CASOS D'ÚS	20
7.3 MODEL DE DADES.....	21
7.4 ALGORITME DE CÀLCUL DEL SAFETYSCORE	23
7.5 TRAÇABILITAT DE REQUISITS.....	23
7.6 CONSIDERACIONS DE DISSENY	25
7.7 VALIDACIÓ DEL MODEL	25
7.8 DIAGRAMA DE CLASSES.....	26
7.9 DIAGRAMES DE SEQÜÈNCIA.....	28
7.9.1. UCI – PLANIFICAR RUTA	28
7.9.2. UC2 – VISUALITZAR PUNTS DE RISC.....	28
7.9.3. UC3 – SOS 112.....	29

7.9.4. UC4 – CONSULTA D’HISTORIAL.....	30
7.9.5. UC5 – CONFIGURACIÓ DE PREFERÈNCIES.....	30
7.10 DISSENY DE PERSISTÈNCIA	31
8. DISSENY I ARQUITECTURA	34
8.1 ARQUITECTURA PER CAPES.....	34
8.2 PATRONS DE DISSENY APLICATS	35
8.3 MOTOR DE RUTES	35
8.3.1. INTEGRACIONS EXTERNES	36
8.3.2. OPTIMITZACIONS IMPLEMENTADES.....	36
9. IMPLEMENTACIÓ.....	38
9.1 STACK TECNOLÒGIC.....	38
9.2 ARQUITECTURA MODULAR	38
9.3 ALGORITMES CLAU.....	39
9.3.1. ALGORITME DE RUTA EQUILIBRADA.....	40
9.3.2. SUITE DE NETEJA DE POLILÍNIES.....	41
9.3.3. SISTEMA DE PUNTUACIÓ MULTI-DIMENSIONAL (SAFETYSCORE)	41
9.4 OPTIMITZACIONS IMPLEMENTADES	42
10. FUNCIONALITATS AVANÇADES I CARACTERÍSTIQUES DIFERENCIALS ..	44
10.1 SISTEMA D’EMERGÈNCIES INTEGRAT	44
10.2 NAVEGACIÓ ASSISTIDA	44
10.3 GESTIÓ DE TRAJECTES	44
10.4 XARXA DE SEGURETAT COMUNITÀRIA	44
10.5 ADAPTACIÓ INTEL·LIGENT D’INTERFÍCIE	44
10.6 ANÀLISI DE RENDIMENT I ÚS	45
11. CAPTURES DE PANTALLA I DEMOSTRACIÓ VISUAL DE L’APLICACIÓ	46
11.1 PANTALLA D’INICI I CÀRREGA	46
11.2 INTERFÍCIE PRINCIPAL DE PLANIFICACIÓ DE RUTES	47
11.3 SELECCIÓ I COMPARACIÓ DE RUTES	48
11.4 INFORMACIÓ DE SEGURETAT DETALLADA	49

11.5	FUNCIONALITATS D'EMERGÈNCIA I SEGURETAT	50
11.6	HISTORIAL I GESTIÓ DE RUTES.....	52
11.7	CONTROLS DE MAPA I PERSONALITZACIÓ.....	54
11.8	GUIA DE NAVEGACIÓ ACTIVA	56
11.9	ANÀLISI DE LA INTERFÍCIE D'USUARI	57
11.10	RESUM DE LA DEMOSTRACIÓ VISUAL.....	57
12.	PROVES, AVALUACIÓ I VALIDACIÓ	58
12.1	METODOLOGIA DE TESTING	58
12.2	RESULTATS TÈCNICS	59
13.	DISCUSSIÓ DE RESULTATS I IMPACTE.....	61
13.1	COMPARATIVA ENTRE RUTES.....	61
13.2	INTERPRETACIÓ I IMPACTE	61
13.3	CONCLUSIONS INTERMÈDIES	63
14.	AVALUACIÓ DE COSTOS I VIABILITAT ECONÒMICA	64
14.1	COSTOS DE DESENVOLUPAMENT	64
14.2	COSTOS OPERACIONALS EN ESCENARIS DE CREIXEMENT.....	64
14.3	MODELS DE MONETITZACIÓ POTENCIAL	65
14.4	RETORN D'INVERSIÓ HIPOTÈTIC	66
15.	LEGISLACIÓ I PROTECCIÓ DE DADES.....	67
15.1	COMPLIMENT DEL RGPD I LA LOPDGDD	67
15.2	DRETS DELS USUARIS.....	67
15.3	MESURES DE SEGURETAT TÈCNiques I ORGANITZATIVES	68
15.4	RESUM DE CONFORMITAT LEGAL	68
16.	COMPETÈNCIA TRANSVERSAL CT7: PRINCIPIS ÈTICS I RESPONSABILITAT SOCIAL	69
16.1	IGUALTAT: ANÀLISI DE DESIGUALTATS I DISCRIMINACIONS	69
16.2	MEDI AMBIENT: DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE.....	69
16.3	RESPONSABILITAT SOCIAL: IMPLICACIÓ COMUNITÀRIA	69
16.4	ÈTICA: PRINCIPIS I PRÀCTICA.....	70

17.	CONCLUSIONS I LÍNIES FUTURES.....	71
17.1	OBJECTIUS ASSOLITS.....	71
17.2	CONTRIBUCIONS I INNOVACIONS.....	71
17.3	LIMITACIONS IDENTIFICADES.....	71
17.4	LÍNIES FUTURES DE DESENVOLUPAMENT.....	71
17.5	IMPACTE I PROJECCIÓ.....	72
17.6	CONCLUSIONS FINALS.....	72
18.	VALORACIÓ PERSONAL.....	73
18.1	APRENTATGE TÈCNIC ADQUIRIT.....	73
18.2	DESENVOLUPAMENT DE COMPETÈNCIES PROFESSIONALS.....	73
18.3	DESAFIAMENTS SUPERATS.....	73
18.4	SATISFACCIÓ I REALITZACIÓ PERSONAL.....	73
18.5	REFLEXIÓ SOBRE EL CREIXEMENT PERSONAL.....	73
18.6	IMPACTE EN LA VISIÓ PROFESSIONAL.....	73
18.7	CONCLUSIONS DE LA VALORACIÓ PERSONAL.....	74
19.	RECURSOS UTILITZATS (PROGRAMARI I HARDWARE).....	75
19.1	PROGRAMARI.....	75
19.2	HARDWARE.....	75
	BIBLIOGRAFIA.....	77
	ANNEXES.....	78

Índex de taules

TAULA 1: TAULA-RESUM D'ALGORITMES I OPTIMITZACIONS	43
TAULA 2: COMPARATIVA DE LES FUNCIONALITATS DIFERENCIALS DE SAFEWAY EN RELACIÓ AMB ALTRES APLICACIONS DE NAVEGACIÓ I SEGURETAT.....	45
TAULA 3: RESUM DE RESULTATS DE PROVES DE SAFEWAY: MÈTRIQUES TÈCNIQUES I D'USABILITAT.	59
TAULA 4: RESULTATS DETALLATS DE PROVES DE RENDIMENT PER DISPOSITIU I EMULADOR.	60
TAULA 5: RESUM DE MÈTRIQUES D'IMPACTE DE SAFEWAY: RENDIMENT, SEGURETAT, USABILITAT, COMPATIBILITAT I ACCESSIBILITAT.	62
TAULA 6: COSTOS MENSUALS ESTIMATS SEGONS ESCENARIS DE CREIXEMENT D'USUARIS DE SAFEWAY.....	65
TAULA 7: RESUM DE LA CONFORMITAT LEGAL I DE PROTECCIÓ DE DADES DE SAFEWAY.	68

Índex de figures

FIGURA 1: PANTALLA D'INICI DE L'APLICACIÓ SAFEWAY EN EXECUCIÓ	12
FIGURA 2: METODOLOGIA DE TREBALL SEGUIDA EN EL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE SAFEWAY.....	16
FIGURA 3: DIAGRAMA DE GANTT DEL PROJECTE SAFEWAY AMB LA PLANIFICACIÓ TEMPORAL DE LES FASES PRINCIPALS I EL PERCENTATGE DE COMPLETAT.	16
FIGURA 4: DIAGRAMA DE CASOS D'ÚS DE L'APLICACIÓ SAFEWAY	19
FIGURA 5: MODEL DE DADES DE SAFEWAY. ES MOSTREN LES ENTITATS PRINCIPALS I LES RELACIONS: ROUTEMODEL, RISKPOINT (N.N) I USERPREFERENCES. OPCIONALMENT S'INCLOU ROUTEHISTORY PER REGISTRAR L'HISTORIAL.....	22
FIGURA 6: DIAGRAMA DE CLASSES I SERVEIS PRINCIPALS DE SAFEWAY. ES MOSTREN LES RELACIONS ENTRE SERVEIS (ROUTINGSERVICE, RISKANALYSISSERVICE, EMERGENCYSERVICE, ETC.) I ELS MODELS DE DADES, AMB ELS MÈTODES PRINCIPALS ASSOCIATS.....	27
FIGURA 7: SEQÜÈNCIA DE PLANIFICAR RUTA (UC1): FLUX DE MISSATGES ENTRE UI, SERVEIS INTERNS I APIS EXTERNES PER OBTENIR RUTES, CALCULAR EL SAFETYSCORE, NETEJAR POLILÍNIES I RETORNAR LES TRES OPCIONS.	28
FIGURA 8: SEQÜÈNCIA DE VISUALITZAR PUNTS DE RISC (UC2): OBTENCIÓ I FILTRATGE DELS PUNTS DE RISC, REPRESENTACIÓ AL MAPA I ACTUALITZACIÓ DEL PANELL DE SEGURETAT.	29
FIGURA 9: SEQÜÈNCIA DE SOS 112 (UC3): GENERACIÓ DEL MISSATGE AMB COORDENADES I ADREÇA, ACTIVACIÓ DE LA TRUCADA AL 112 I OPCIÓ DE COMPARTICIÓ D'AUXILI.	29
FIGURA 10: SEQÜÈNCIA DE CONSULTA D'HISTORIAL (UC4): RECUPERACIÓ DE RUTES GUARDADES, SELECCIÓ D'UNA ENTRADA I RENDERITZACIÓ DE LA RUTA AL MAPA.	30
FIGURA 11: SEQÜÈNCIA DE CONFIGURACIÓ DE PREFERÈNCIES (UC5): MODIFICACIÓ DE PARÀMETRES, DESAT PERSISTENT I APLICACIÓ IMMEDIATA DELS CANVIS A LA INTERFÍCIE I AL PANELL DE SEGURETAT.....	30
FIGURA 12: ARQUITECTURA PER CAPES DE SAFEWAY. EL SISTEMA S'ORGANITZA EN QUATRE CAPES (PRESENTACIÓ, GESTIÓ D'ESTAT, SERVEIS/LÒGICA DE NEGOCI I MODELS DE DADES), AMB RESPONSABILITATS BEN DELIMITADES QUE ASSEGUREN ESCALABILITAT I MANTENIBILITAT.	35
FIGURA 13: DIAGRAMA DE FLUX DE L'ALGORITME DE RUTA EQUILIBRADA. EL PROCÉS COMBINA LA RUTA RÀPIDA I LA SEGURA, SUBSTITUINT SEGMENTS AMB RISC ALT I APLICANT NETEJA DE POLILÍNIES ABANS DE CALCULAR EL SAFETYSCORE.	40
FIGURA 14: PANTALLA D'INICI DE SAFEWAY AMB LOGOTIP I CÀRREGA INICIAL.....	46
FIGURA 15: DIÀLEG DE PERMISOS DE LOCALITZACIÓ D'ANDROID PER A SAFEWAY.	46
FIGURA 16: INTERFÍCIE PRINCIPAL DE SAFEWAY AMB MAPA DE BARCELONA I PANELL DE PLANIFICACIÓ.	47
FIGURA 17: PANELL COMPARATIU AMB RUTES MÉS RÀPIDA, EQUILIBRADA I MÉS SEGURA.	48
FIGURA 18: VISUALITZACIÓ DE MÚLTIPLES PUNTS DE RISC.	49
FIGURA 19: BOTÓ SOS	50

FIGURA 20: PANELL DE COMPARTICIÓ D'EMERGÈNCIA AMB COORDENADES.	50
FIGURA 21: BOTÓ LLISTA LLOCS SEGURS	51
FIGURA 22: LLISTA DE LLOCS SEGURS PROPERS A LA UBICACIÓ ACTUAL.	51
FIGURA 23: BOTÓ DESAR RUTA.....	52
FIGURA 24: BOTÓ HISTORIAL	52
FIGURA 25: PANTALLA D'HISTORIAL AMB RUTES GUARDADES I OPCIONS DE GESTIÓ.....	53
FIGURA 26: CONTROLS FLOTANTS PER AL MAPA (MODE DIÛRN)	54
FIGURA 27: VISUALITZACIÓ EN MODE NOCTURN DEL MAPA.	55
FIGURA 28: MODE SATÈL·LIT.	55
FIGURA 29: BOTÓ GUIA.	56
FIGURA 30: PANTALLA DE GUIA DE NAVEGACIÓ PAS A PAS AMB INSTRUCCIONS CONTEXTUALS.....	56

1. Introducció

En l'actualitat, la seguretat personal s'ha convertit en una preocupació creixent en entorns urbans. Les ciutats afavoreixen la mobilitat i la interacció social, però alhora concentren riscos que afecten especialment els vianants, com ara zones poc il·luminades, trànsit intens o entorns amb delictes recurrents. Aquesta situació és especialment rellevant durant la nit o en barris desconeguts, on la manca d'il·luminació i la presència d'espais solitaris poden incrementar la sensació d'inseguretat.

En aquest context, el present Treball de Fi de Grau planteja el desenvolupament de SafeWay, una aplicació mòbil de navegació per a vianants centrada en la seguretat. A diferència de les eines tradicionals de planificació de rutes perquè, a més de prioritzar el temps o la distància, ofereix simultàniament rutes ràpides, equilibrades i segures, incorporant la seguretat percebuda com a criteri de decisió central.

L'objectiu general del projecte és, doncs, aprofitar les possibilitats de la tecnologia per oferir una eina que contribueixi a la prevenció i reducció de situacions de risc en la mobilitat urbana. Per aconseguir-ho, es combina l'ús d'APIs de Google per al càlcul de trajectes amb la incorporació d'un model propi de punts de risc, que integra factors com la criminalitat, la il·luminació deficient i les incidències registrades. A partir d'aquest model, l'aplicació pondera diferents criteris —temps, distància i exposició al risc— i genera rutes alternatives que permeten a l'usuari prendre decisions informades.

SafeWay no només té un component tecnològic, sinó també una clara dimensió social. Es tracta d'una aplicació pensada per millorar la qualitat de vida dels ciutadans, especialment dels col·lectius més vulnerables a l'hora de desplaçar-se a peu. Amb aquest projecte es pretén demostrar que la tecnologia pot ser un instrument eficaç per fomentar ciutats més segures, inclusives i respectuoses amb les necessitats de la ciutadania.



Figura 1: Pantalla d'inici de l'aplicació SafeWay en execució

2. Context i motivació

La idea que ha donat origen a SafeWay neix de l'observació d'una necessitat social no satisfeta. Actualment, la majoria d'aplicacions de navegació es limiten a calcular rutes més ràpides o eficients en termes de temps i distància, però no tenen en compte variables relacionades amb la seguretat personal. Aquest buit és especialment crític si es té en compte que moltes persones, i en particular les dones, modifiquen les seves rutines de mobilitat per evitar zones considerades perilloses.

La percepció d'inseguretat urbana juga un paper determinant en el comportament dels vianants i pot restringir la seva llibertat de moviment. Factors com la il·luminació dels carrers, la densitat del trànsit, l'activitat comercial o l'historial d'incidents delictius influeixen directament en la tria d'itineraris. Tot i això, fins ara no s'ha generalitzat l'ús d'aplicacions que integrin aquesta informació per oferir rutes més segures.

A nivell personal, la motivació per desenvolupar aquest projecte rau en la voluntat d'aportar una solució tecnològica innovadora que respongui a una necessitat real de la societat. SafeWay és el resultat d'una combinació entre els coneixements tècnics adquirits en l'àmbit de l'enginyeria informàtica i la sensibilitat social pròpia de les ciències de la salut i la biotecnologia. D'aquesta manera, el projecte no només contribueix a l'àmbit acadèmic, sinó que també pot tenir una aplicació pràctica immediata en la vida quotidiana de les persones.

3. Estat de l'art

Les aplicacions de navegació i mapes han experimentat un gran creixement en els darrers anys, especialment gràcies a la generalització dels telèfons intel·ligents i la millora dels serveis de geolocalització. Google Maps s'ha consolidat com la solució hegemònica en aquest camp, oferint rutes en temps real i informació de trànsit. Tanmateix, la seva filosofia de càlcul es basa fonamentalment en criteris de temps i distància, sense considerar aspectes vinculats a la seguretat del trajecte.

Altres aplicacions com Apple Maps o Waze ofereixen funcions similars, amb algunes particularitats. Apple Maps s'integra de manera nativa en l'ecosistema d'iOS, però presenta la mateixa limitació: la manca de criteris de seguretat personal. Waze, per la seva banda, destaca per l'ús d'informació col·laborativa en temps real, però el seu enfocament està pensat per a conductors i no per a vianants. Una altra aplicació rellevant és Citymapper, que integra diferents modes de transport públic i privat, però tampoc contempla variables relacionades amb la seguretat.

En aquest panorama, cal destacar també **bSafe**, una aplicació orientada específicament a la seguretat personal. Tot i que no ofereix rutes de navegació, incorpora funcions com el botó SOS, l'enviament automàtic d'alertes a contactes de confiança i el seguiment en temps real de la ubicació. El seu enfocament se centra en la resposta davant d'emergències i en la prevenció a través de la comunitat, però no cobreix la dimensió de la planificació de trajectes segurs per a vianants.

Malgrat aquestes opcions, cap de les aplicacions esmentades ofereix rutes alternatives pensades explícitament per minimitzar riscos personals. Això demostra l'existència d'un nínxol encara no cobert en el mercat: la navegació urbana orientada a la seguretat del vianant. En aquest sentit, SafeWay s'insereix en un context tecnològic ja consolidat, però aporta un valor afegit clar i diferencial: el disseny d'algoritmes que permeten calcular i representar rutes més segures a partir de dades contextuais.

4. Objectius i abast

4.1 Objectiu general

L'objectiu general del projecte SafeWay és desenvolupar una aplicació mòbil capaç de generar rutes urbanes per a vianants que integrin criteris de seguretat personal en el seu càlcul. La proposta es diferencia de les aplicacions tradicionals de navegació en el fet que no només ofereix la ruta més ràpida, sinó també una ruta equilibrada i una altra orientada a maximitzar la seguretat.

4.2 Objectius específics

1. **Integrar tècnicament les APIs de Google** (walking mode, geocodificació directa i inversa, representació de trajectes).
2. **Construir un model de punts de risc** (criminalitat, il·luminació deficient, accidents) amb severitat i radi d'afectació.
3. **Desenvolupar un mètode de càlcul capaç d'assignar un `safetyScore` a cada ruta per quantificar el grau d'exposició al risc.**
4. **Crear una ruta equilibrada que redueixi risc** sense incrementar significativament el temps.
5. **Oferir una experiència d'usuari intuïtiva**, amb interfície clara, possibilitat de canviar l'estil de mapa i funcions addicionals (botó SOS, historial de rutes).

4.3 Abast del projecte

L'abast del projecte se centra en l'àmbit de la mobilitat urbana a peu. L'aplicació no contempla altres mitjans de transport, com els vehicles privats o el transport públic, ni tampoc pretén substituir els serveis de navegació existents. SafeWay es planteja com una eina complementària, pensada per a usuaris que busquen desplaçar-se de manera més segura en entorns urbans.

5. Planificació i metodologia

5.1 Metodologia de treball

El desenvolupament de SafeWay s’ha estructurat seguint una metodologia iterativa i incremental, que ha permès avançar progressivament en la construcció de l’aplicació i validar cada mòdul abans d’afegir noves funcionalitats. La primera fase va consistir en la **definició dels requisits** i el disseny preliminar de la interfície, establint les funcionalitats bàsiques i l’arquitectura general. La segona fase es va centrar en la **integració amb les APIs** de Google i en la comprovació del correcte funcionament del càlcul de rutes.

Posteriorment, es va **desenvolupar el motor de càlcul del risc**, basat en la detecció i ponderació de punts de risc simulats. Un cop validada aquesta part, es van **incorporar les funcionalitats complementàries**, com el botó SOS o la gestió de l’historial. A continuació, es van realitzar **proves de sistema i d’acceptació** amb usuaris per tal de garantir la fiabilitat i la usabilitat de l’aplicació. Finalment, la **redacció de la memòria i la defensa oral**.



Figura 2: Metodologia de treball seguida en el desenvolupament del projecte SafeWay.

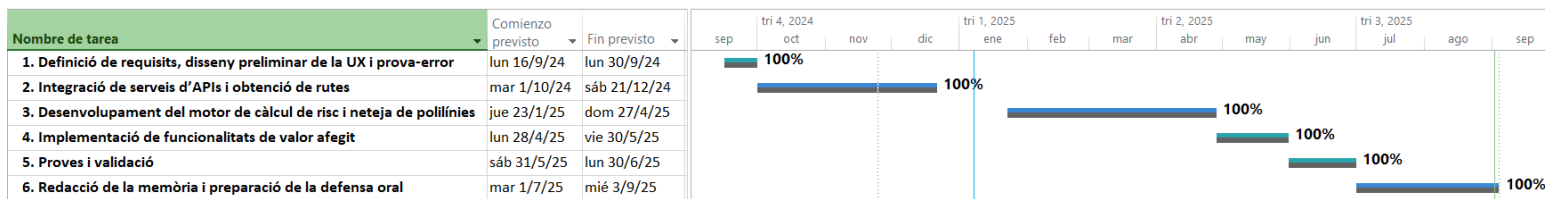


Figura 3: Diagrama de Gantt del projecte SafeWay amb la planificació temporal de les fases principals i el percentatge de completat.

5.2 Gestió del risc

La gestió del projecte ha tingut en compte diversos riscos potencials. El primer ha estat la **dependència d'APIs externes**, que s'ha mitigat amb la implementació d'un mode de degradació en cas d'errors. El segon ha estat la **manca de dades reals sobre seguretat urbana**, resolta mitjançant la creació d'un model de punts de risc simulats però escalable a fonts oficials. El tercer ha estat la **complexitat de la interfície**, que s'ha afrontat amb l'ús de guies d'estil i components reutilitzables.

A banda d'aquests riscos, el projecte també ha hagut d'afrontar altres entrebancs. La **configuració de l'entorn de desenvolupament** amb Flutter i Android Studio va comportar problemes de compatibilitat i gestió de dependències, que es van superar amb l'ús de documentació oficial i fòrums tècnics. També el **càlcul de rutes** va presentar dificultats: la primera versió del motor tenia temps de resposta massa elevats, i va ser necessari incorporar algorismes de neteja de polilínies i simplificació de rutes per reduir el temps de càlcul a menys de tres segons.

En conjunt, la identificació anticipada d'aquests riscos i la resposta efectiva als entrebancs han permès conduir el projecte fins a un resultat satisfactori, amb un producte robust que compleix els objectius plantejats.

6. Requisites

6.1 Requisites funcionals

Entre els requisits funcionals destaquen la possibilitat d'introduir un origen i una destinació, tant manualment (cercador/adreça) com seleccionant-los directament sobre el mapa. El sistema ha de ser capaç de calcular i representar tres rutes alternatives, visualitzar punts de risc amb informació contextual, activar un botó SOS connectat amb els serveis d'emergència i gestionar un historial de rutes. També es preveu la possibilitat que l'usuari configure l'estil del mapa segons les seves preferències.

6.2 Requisites no funcionals

Pel que fa als requisits no funcionals, s'ha establert que el temps de càlcul ha de ser inferior a tres segons per ruta, que la interfície ha de ser responsiva i clara en tots els dispositius i que l'aplicació ha de ser compatible amb Android 10 o versions superiors. Igualment, s'ha garantit el compliment del **Reglament General de Protecció de Dades**³, de la **Llei Orgànica de Protecció de Dades i garantia dels drets digitals**⁴, i dels **termes d'ús de Google Maps Platform**⁵, que estableixen condicions relatives a l'atribució, les limitacions de quota i la protecció de les claus d'API.

6.3 Casos d'ús principals

La definició dels requisits ha estat la base per elaborar els casos d'ús. A tall d'exemple, un dels casos principals consisteix en què l'usuari introdueix un origen i una destinació, consulta les tres rutes generades i n'escull una per iniciar el trajecte. Un altre cas d'ús és l'activació del botó SOS en situació d'emergència, que deriva en una trucada immediata al número 112.

Aquests casos asseguren la traçabilitat entre requisits i funcionalitats, i garanteixen que el desenvolupament compleixi amb les necessitats inicials plantejades. La *Figura 4* mostra el Diagrama de casos d'ús de SafeWay, que recull les interaccions de l'usuari amb l'aplicació i els serveis externs.

³ Reglament (UE) 2016/679 del Parlament Europeu i del Consell, de 27 d'abril de 2016, relatiu a la protecció de les persones físiques pel que fa al tractament de dades personals i a la lliure circulació d'aquestes dades (Reglament General de Protecció de Dades, RGPD).

⁴ Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPDGDD).

⁵ Google Maps Platform. *Terms of Service*. Recuperat de: <https://cloud.google.com/maps-platform/terms>

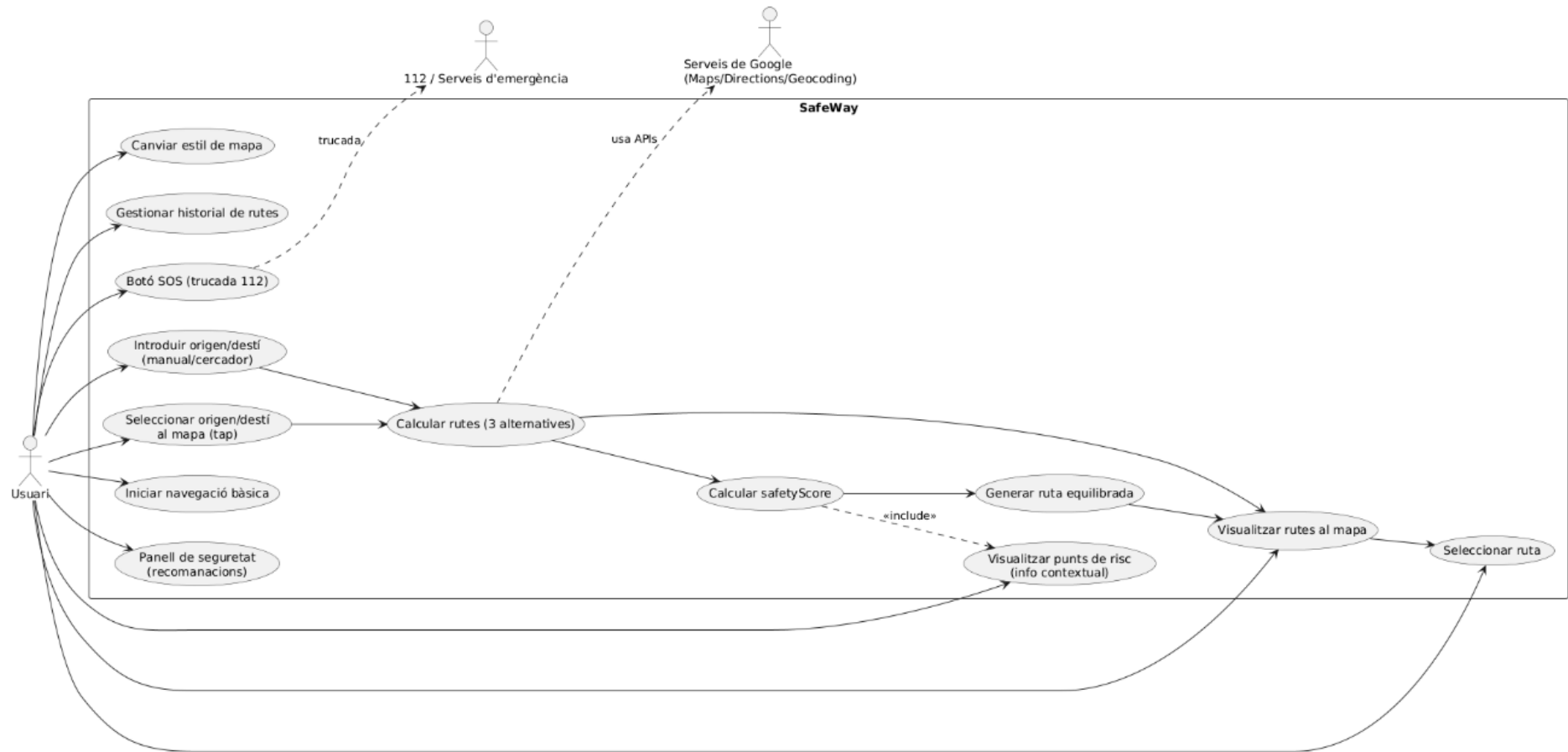


Figura 4: Diagrama de casos d'ús de l'aplicació SafeWay

7. Anàlisi i modelatge

El procés d'anàlisi del projecte SafeWay es va iniciar amb l'estudi dels requisits funcionals i no funcionals per traduir-los en models conceptuals capaços de guiar la implementació. Es van identificar els actors, els casos d'ús, les entitats de dades principals i l'algorisme de càlcul de seguretat, establint així les bases per al disseny de l'arquitectura i la validació posterior.

7.1 Anàlisi de requisits

Els **requisits funcionals** cobreixen: introducció flexible d'origen i destinació (**RF1**), càlcul de tres rutes diferenciades (**RF2**), visualització de punts de risc (**RF3**), càlcul d'un **safetyScore** per comparar rutes (**RF4**), disponibilitat d'un **botó SOS** fiable (**RF5**), manteniment d'un historial local (**RF6**) i personalització de l'estil de mapa (**RF7**).

Els **requisits no funcionals** inclouen: temps de resposta <3s (**RNF1**), disponibilitat del 99,5% amb mecanismes de fallback⁶ (**RNF2**), consum de bateria $\leq 5\%/h$ (**RNF3**), conformitat amb directrius d'accessibilitat **WCAG 2.1 AA**⁷ (**RNF4**), compatibilitat amb Android 10 o superior (**RNF5**), mida d'instal·lació $\leq 50MB$ (**RNF6**) i gestió de permisos de privacitat (**RNF7**), que inclou la sol·licitud explícita de consentiment per a la ubicació, l'accés a funcions crítiques i el control de l'usuari sobre l'historial i la supressió de dades.

7.2 Actors i casos d'ús

Es van identificar quatre actors principals:

- **Usuari:** introdueix punts, consulta rutes, activa SOS.
- **Sistema de navegació:** processa rutes i càlculs de seguretat.
- **APIs externes (Google Maps):** geocodificació, càlcul de rutes i mapes.
- **Sistema d'emergències (112):** rep la trucada SOS.

Els casos d'ús principals inclouen: càlcul de rutes segures (**UC1**), visualització de punts de risc (**UC2**), activació d'emergències (**UC3**), consulta d'historial (**UC4**) i configuració de preferències (**UC5**).

⁶ *Fallback* fa referència a un mecanisme de reserva que garanteix la continuïtat del servei quan hi ha errors o fallades (per exemple, utilitzar dades emmagatzemades en memòria cau si una API no respon).

⁷ Les *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1 AA* defineixen criteris internacionals per garantir l'accessibilitat digital, incloent-hi aspectes com contrast de color, navegació amb teclat, compatibilitat amb lectors de pantalla i adaptabilitat a diferents pantalles.

7.3 Model de dades

El model es fonamenta en tres entitats:

- `RouteModel`: seqüència de coordenades, distància, temps, `safetyScore`, tipus de ruta i polilínia.
- `RiskPoint`: identificador, tipus, severitat (1–10), radi d'afectació, coordenades, data de reportatge i descripció opcional.
- `UserPreferences`: estil de mapa, mode nocturn, llindar de risc, contactes SOS i historial automàtic.

Les relacions són: un usuari pot tenir múltiples rutes; una ruta pot contenir diversos punts de risc; i un punt de risc pot afectar diverses rutes (relació molts-a-molts).

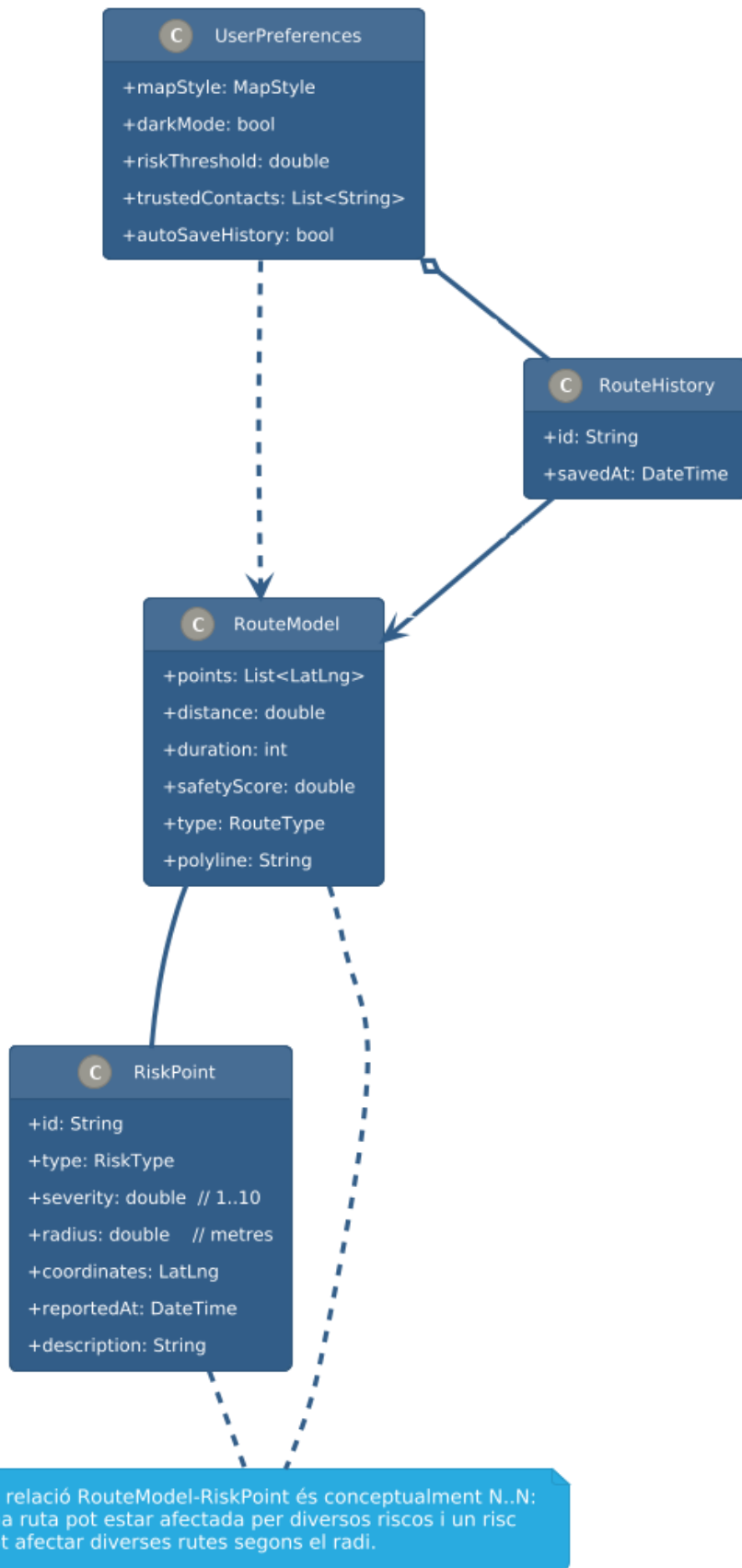


Figura 5: Model de dades de SafeWay. Es mostren les entitats principals i les relacions: RouteModel, RiskPoint (N..N) i UserPreferences. Opcionalment s'inclou RouteHistory per registrar l'història.

7.4 Algoritme de càlcul del safetyScore

El `safetyScore` és una mètrica que avalua com de segura és una ruta determinada. Aquesta va de 0 a 100 punts i es basa en aplicar penalitzacions a la ruta si aquesta presenta punts de risc. La puntuació inicial és 100 i es redueix segons tres factors:

- **Proximitat:** distància mínima entre la ruta i el risc dins del radi d'afectació.
- **Severitat:** risc ponderat en escala 1–10.

L'algoritme aplica una penalització proporcional a aquests factors amb una constant de 25 punts, garantint que la puntuació no baixi mai de 0. Els resultats es codifiquen per colors: 0–25 (risc molt alt, vermell), 26–50 (moderada, taronja), 51–75 (baix, groc), 76–100 (molt baix, verd).

```
double calculateSafetyScore(RouteModel route, List<RiskPoint> risks)
{
    double score = 100.0;
    for (RiskPoint r in risks) {
        double d = calculateMinDistance(route.points, r.coordinates);
        if (d <= r.radius) {
            double proximity = 1 - (d / r.radius);
            double severity = r.severity / 10.0;
            score -= proximity * severity * 25.0;
        }
    }
    return max(0.0, score);
}
```

La formulació matemàtica detallada es pot consultar a l'**apartat 9.3.3**.

7.5 Traçabilitat de requisits

Es va establir una **matriu de traçabilitat** que relaciona requisits (RF/RNF) amb casos d'ús, serveis implementats i proves:

Requisits funcionals

RF1 – Introducció flexible d'origen i destinació → UC1 – Càlcul de rutes segures → `GeocodingService` → proves unitàries de conversió d'adreces.

RF2 – Càlcul de tres rutes diferenciades → UC1 – Càlcul de rutes segures → `RoutingService` → proves de càlcul de rutes.

RF3 – Visualització de punts de risc → UC2 – Visualització de punts de risc → `RiskPointService` → proves de visualització.

RF4 – Càlcul d'un `safetyScore` → UC1 – Càlcul de rutes segures → `SafetyScoreCalculator` → proves de càlcul i normalització.

RF5 – Disponibilitat d'un botó SOS fiable → UC3 – Activació d'emergències (SOS 112) → `EmergencyService` → proves d'activació SOS.

RF6 – Manteniment d'un historial local → UC4 – Consulta d'historial → `HistoryService` → proves de persistència.

RF7 – Personalització de l'estil de mapa → UC5 – Configuració de preferències → `PreferencesService` → proves de configuració.

Requisits no funcionals

RNF1 – Temps de resposta <3s → UC1 – Càlcul de rutes segures → `RoutingService` → proves de temps de resposta.

RNF2 – Disponibilitat 99,5% amb fallback → UC1/UC3 – Càlcul de rutes segures / Activació d'emergències → `RoutingService` + `EmergencyService` → proves de disponibilitat i mecanismes de fallback.

RNF3 – Consum de bateria $\leq 5\%/h$ → UC1/UC4 – Càlcul de rutes segures / Consulta d'historial → `RoutingService` + `HistoryService` → proves de consum de bateria.

RNF4 – Conformitat amb WCAG 2.1 AA → UC1/UC2/UC5 – Càlcul de rutes segures / Visualització de punts de risc / Configuració de preferències → `UIAdaptationService` → proves d'accessibilitat.

RNF5 – Compatibilitat amb Android 10 o superior → General → proves en dispositius reals i emuladors.

RNF6 – Mida d'instal·lació $\leq 50MB$ → General → Distribució APK → proves de mida d'instal·lació.

RNF7 – Gestió de permisos de privacitat (consentiment, ubicació, historial) → UC1/UC3/UC4 – Càlcul de rutes segures / Activació d'emergències / Consulta d'historial → `PermissionsManagerService` → proves de sol·licitud de consentiment, activació de permisos i esborrat d'historial.

La cobertura de validació inclou proves unitàries ($\geq 85\%$ del codi), integració i acceptació, així com proves de rendiment i accessibilitat.

7.6 Consideracions de disseny

El disseny es va basar en principis d'**orientació a objectes**, **immutabilitat** i **separació de responsabilitats**. Es van aplicar patrons com *Model-View-Provider* (gestió d'estat reactiva), *Repository* (abstracció de dades), *Factory* (creació d'objectes complexos) i *Observer* (notificació de canvis).

Pel que fa a les optimitzacions, es van incorporar diferents tècniques. La **cache intel·ligent** permet emmagatzemar temporalment rutes i resultats de càlcul freqüents, evitant crides repetides a les APIs de Google i reduint tant la latència com el consum de dades. El **lazy loading** garanteix que només es carreguin els components quan realment són necessaris —per exemple, el panell d'historial només s'inicialitza quan l'usuari l'obre—, fet que redueix el consum de memòria i accelera l'arrencada de l'aplicació.

Al mateix temps, el **batch processing** optimitza les operacions repetitives processant-les en lots, com en la normalització de polilínies o l'avaluació de punts de risc, amb la qual cosa es redueix el nombre d'iteracions i s'incrementa l'eficiència global. Finalment, el **background processing** assigna les tasques més costoses —com l'anàlisi de segments de ruta o la gestió de l'historial— a fils separats, de manera que la interfície es manté responsiva i sense bloquejos.

Aquest conjunt d'optimitzacions assegura **escalabilitat**, en tant que l'aplicació pot créixer en volum de dades i nombre d'usuaris, i **eficiència**, ja que es garanteixen temps de resposta baixos i un ús òptim dels recursos del dispositiu.

7.7 Validació del model

La validació es va realitzar amb criteris de completesa, consistència, escalabilitat i mantenibilitat. Es va verificar la cobertura de requisits mitjançant la matriu de traçabilitat i es van revisar les relacions i restriccions del model, assegurant que fossin coherents amb els objectius del projecte i que permetessin una implementació sòlida.

Adicionalment, es va comprovar que el càlcul de rutes funcionés correctament en diferents escenaris simulats. Les rutes generades (ràpida, equilibrada i segura) es van validar en termes de consistència geogràfica i de coherència amb el model de punts de risc, confirmant que els valors de `safetyScore` reflectien adequadament el nivell d'exposició.

7.8 Diagrama de classes

Aquest apartat descriu les principals classes a nivell d'implementació i les relacions entre serveis, models i la capa de presentació. L'objectiu és donar una visió clara de responsabilitats, dependències i punts d'extensió.

Classes principals

- `RoutingEngine`: orquestra el càlcul de rutes (ràpida, segura, equilibrada) i el postprocessat de polilínies.
- `RoutingService`: fa de façana per a `RoutingEngine`; encapsula integracions amb Google Directions i gestiona cache temporal.
- `RiskAnalysisService`: calcula el risc segment a segment i el `safetyScore` final (proximitat, severitat, factors contextuals).
- `PolylineProcessor`: suite de neteja (*Ramer–Douglas–Peucker*, eliminació de *loops* i *spurs*, *smoothing*).
- `EmergencyService`: gestiona SOS (intent de trucada al 112) i la preparació de missatges d'auxili amb geocodificació inversa.
- `UIAdaptationService`: mode nocturn, record d'estats de panells i ajustos visuals.
- `PreferencesRepository`: lectura/escriptura segura de preferències i historial (`EncryptedSharedPreferences`).
- `RouteModel`, `RiskPoint`, `UserPreferences`: models immutables i serialitzables.
- `RoutesProvider (Provider)`: estat reactiu de rutes i selecció actual.
- `SecurityPanelProvider (Provider)`: estat i recomanacions del panell de seguretat.
- `EmergencyProvider (Provider)`: estat i efectes del flux SOS.

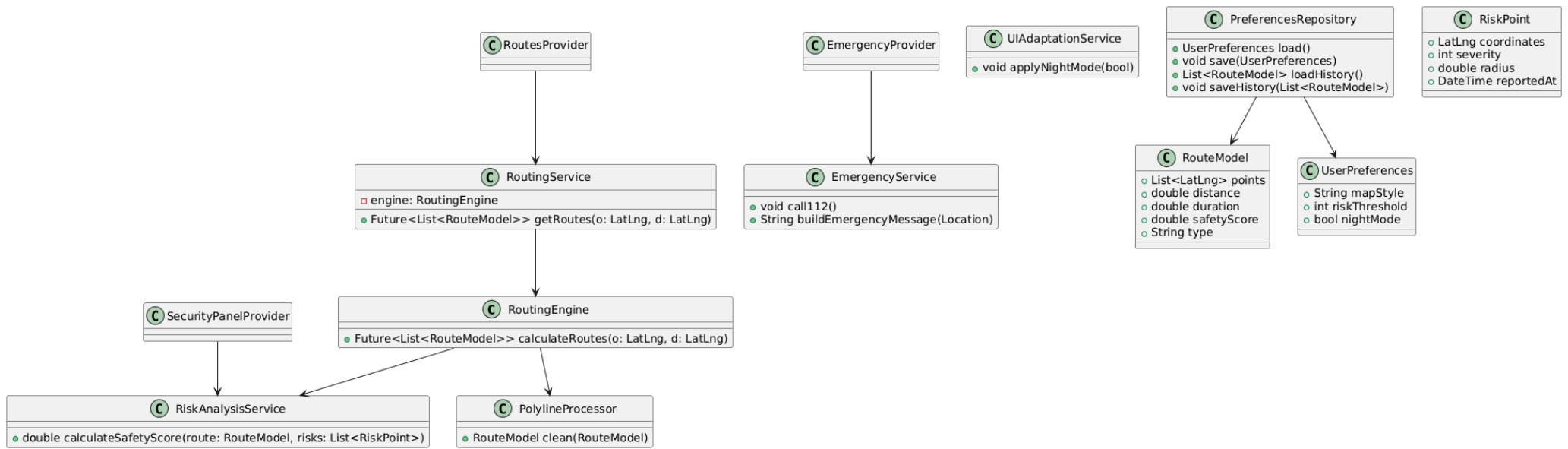


Figura 6: Diagrama de classes i serveis principals de SafeWay. Es mostren les relacions entre serveis (RoutingService, RiskAnalysisService, EmergencyService, etc.) i els models de dades, amb els mètodes principals associats.

7.9 Diagrames de seqüència

7.9.1. UC1 – Planificar ruta

Descripció breu. L'usuari introdueix origen/destí; la UI demana rutes al provider, que delega en `RoutingService`. Aquest integra `Directions API`, calcula `safetyScore` per ruta amb `RiskAnalysisService`, genera la ruta equilibrada i retorna les tres opcions. `PolylineProcessor` neteja les polilínies abans de lliurar a la UI.

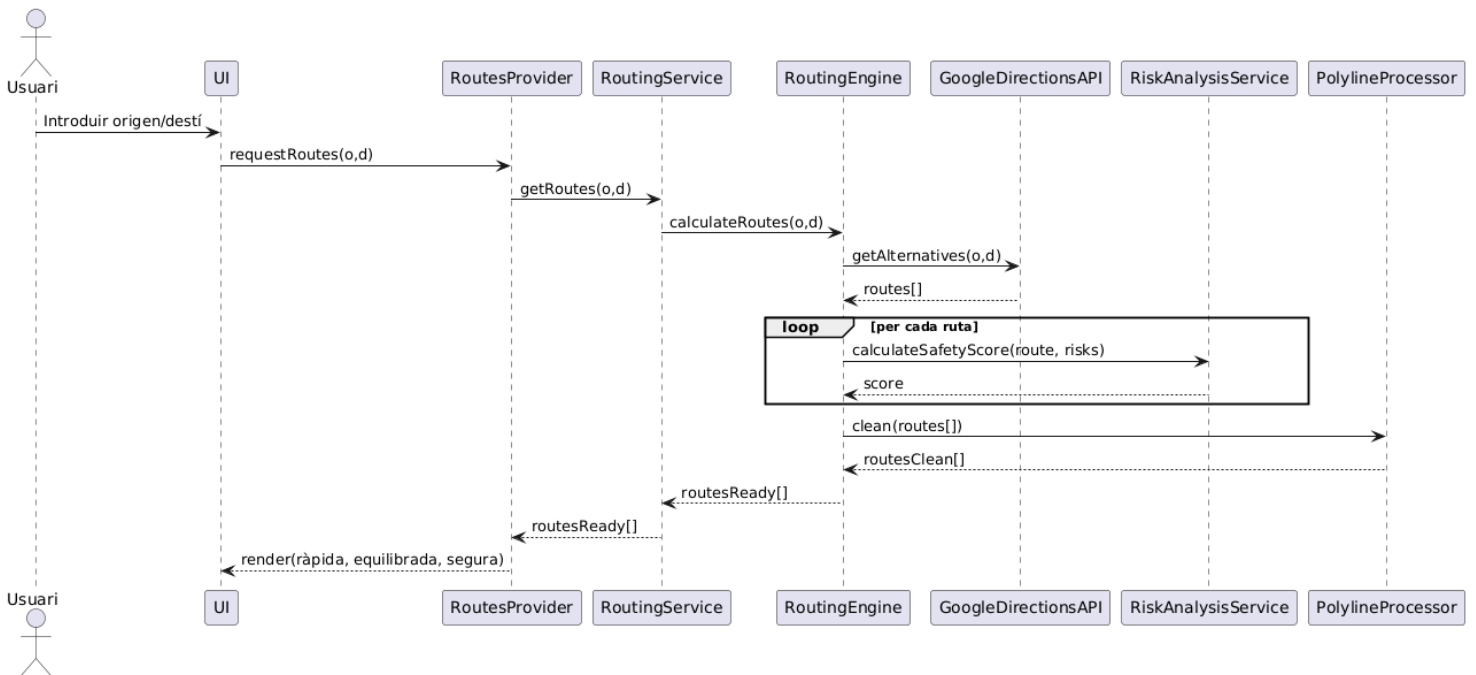


Figura 7: Seqüència de Planificar ruta (UC1): flux de missatges entre UI, serveis interns i APIs externes per obtenir rutes, calcular el `safetyScore`, netejar polilínies i retornar les tres opcions.

7.9.2. UC2 – Visualitzar punts de risc

Descripció breu. En seleccionar una ruta o activar el filtre de “punts de risc”, la UI demana a `RiskPointService` els punts dins dels límits visibles del mapa i segons filtres (severitat, tipus). El servei retorna `riskPoints[]`; la UI pinta marcadors/heatmap i actualitza el `SecurityPanelProvider` amb el resum de risc.

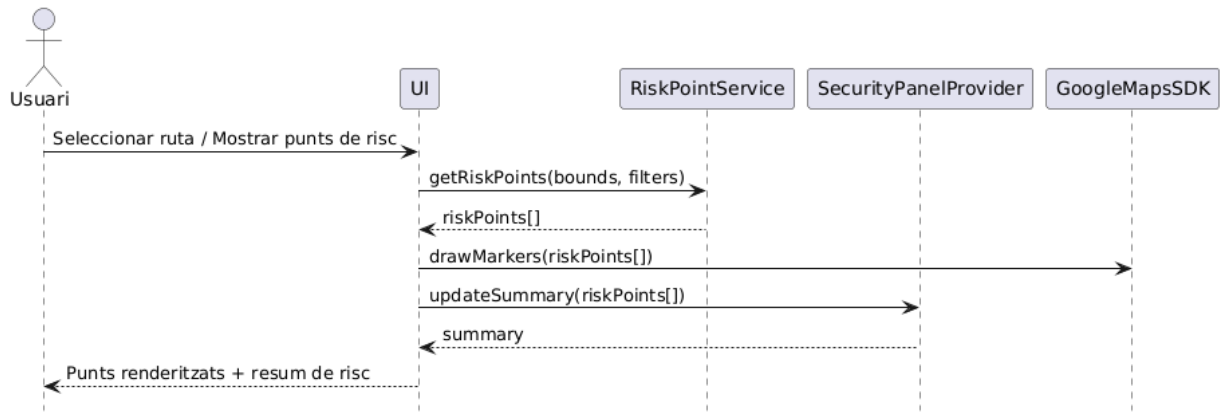


Figura 8: Seqüència de Visualitzar punts de risc (UC2): obtenció i filtratge dels punts de risc, representació al mapa i actualització del panell de seguretat.

7.9.3. UC3 – SOS 112

Descripció breu. Tap llarg sobre el botó SOS → EmergencyService prepara el missatge (coordenades + adreça) i activa l'intent del dialer 112. Opcionalment, s'obre el diàleg de compartició amb el missatge d'auxili.

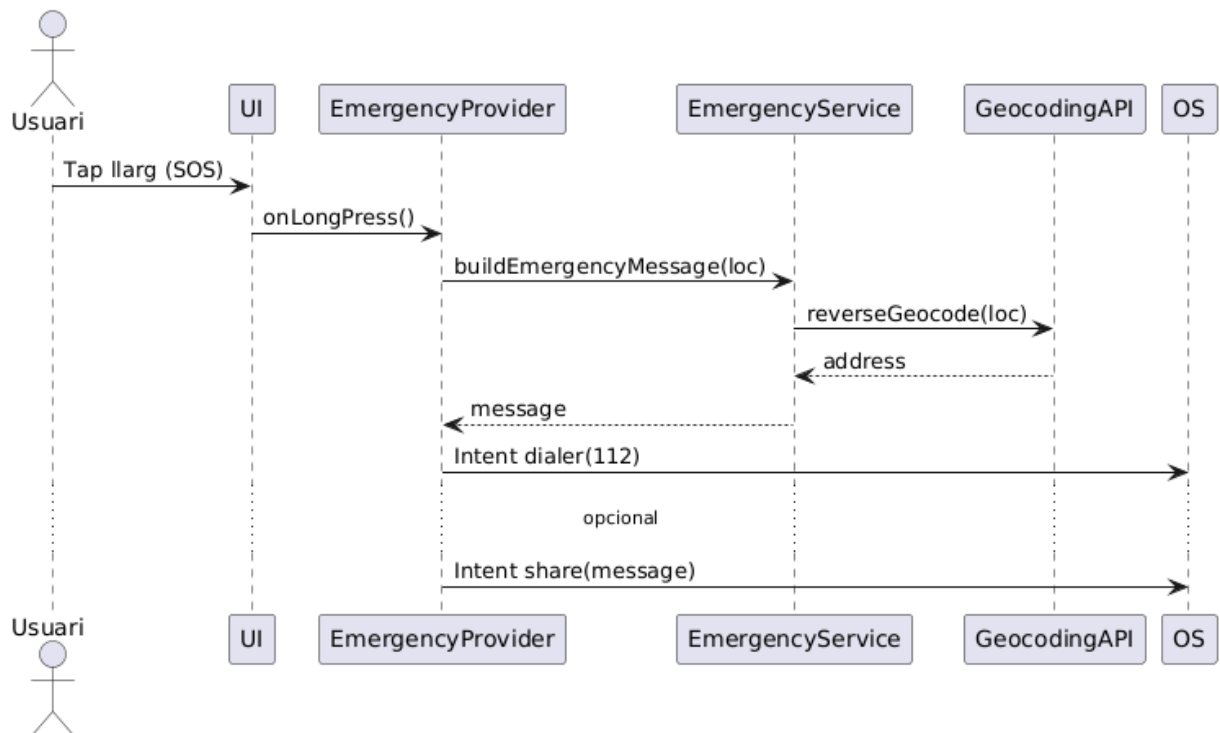


Figura 9: Seqüència de SOS 112 (UC3): generació del missatge amb coordenades i adreça, activació de la trucada al 112 i opció de compartició d'auxili.

7.9.4. UC4 – Consulta d’historial

Descripció breu. L’usuari obre l’historial; la UI demana a `HistoryService` les rutes guardades (que aquest recupera de `PreferencesRepository`). En seleccionar una ruta, la UI la carrega (`RouteModel`) i la mostra al mapa.

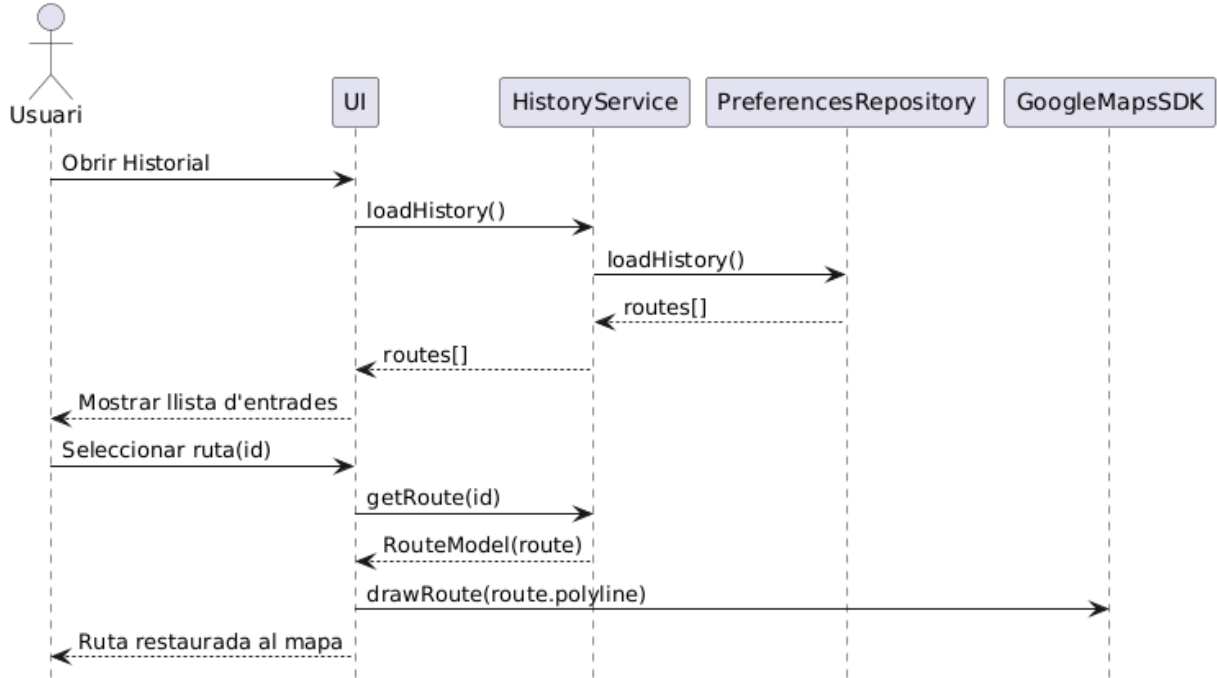


Figura 10: Seqüència de Consulta d’historial (UC4): recuperació de rutes guardades, selecció d’una entrada i renderització de la ruta al mapa.

7.9.5. UC5 – Configuració de preferències

Descripció breu. L’usuari modifica preferències (estil de mapa, mode nocturn, llindar de risc). La UI desa `UserPreferences` a `PreferencesRepository` i aplica canvis visuals amb `UIAdaptationService`; si escau, informa `SecurityPanelProvider` del nou llindar.

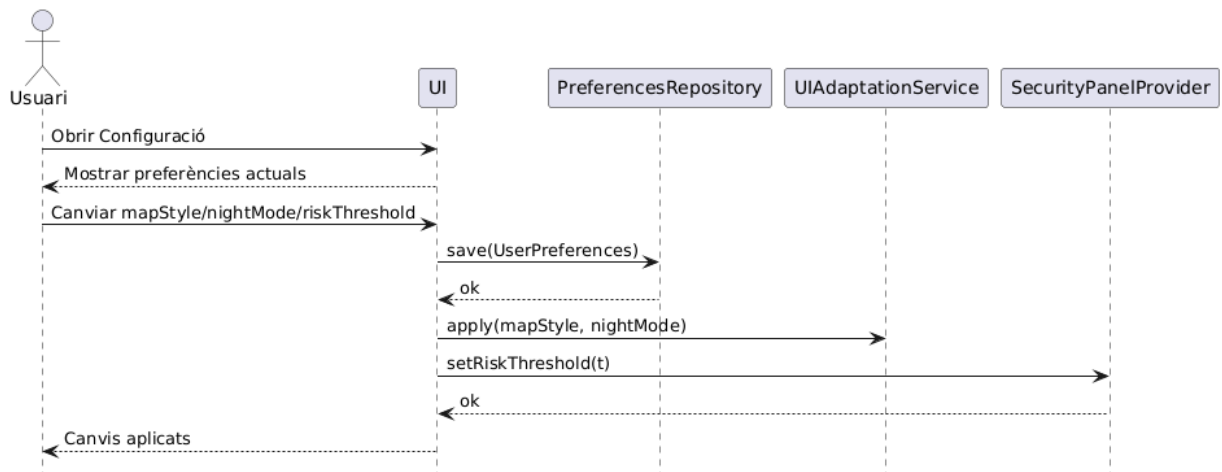


Figura 11: Seqüència de Configuració de preferències (UC5): modificació de paràmetres, desat persistent i aplicació immediata dels canvis a la interfície i al panell de seguretat.

7.10 Disseny de persistència

El disseny de la persistència a SafeWay s'ha plantejat amb l'objectiu de garantir simplicitat, seguretat i compliment del RGPD, evitant la recollida de dades personals innecessàries. Per això, enlloc d'utilitzar una base de dades completa, s'ha optat per un sistema lleuger basat en **EncryptedSharedPreferences** d'Android [1], que és una extensió de la classe *SharedPreferences* i que permet emmagatzemar parelles clau–valor de manera segura. Aquesta tecnologia aplica automàticament **xifratge en repòs** mitjançant claus gestionades pel sistema a través d'Android Keystore, i està pensada per a persistir configuracions i petites quantitats de dades sensibles sense la complexitat d'una base de dades relacional o documental.

Tecnologia seleccionada

S'utilitza **EncryptedSharedPreferences**, que aplica xifratge en repòs amb claus gestionades per **Android Keystore**. Aquesta elecció redueix la complexitat tècnica i assegura un alt nivell de protecció sense haver de desplegar una infraestructura addicional de base de dades. A més, afavoreix el principi de **minimització de dades** del RGPD.

Dades emmagatzemades

Les dades es divideixen en dos blocs principals:

- **Preferències d'usuari**, amb claus senzilles que defineixen la configuració bàsica:
 - `prefs.mapStyle`: estil del mapa (light, dark, satellite).
 - `prefs.nightMode`: booleà que indica si s'activa el mode nocturn automàtic.
 - `prefs.riskThreshold`: llindar de risc (1–5) per personalitzar la sensibilitat de l'algoritme.
- **Historial de rutes**, guardat com un array de JSON. Cada element inclou la informació essencial de la ruta recorreguda, necessària per a la seva consulta posterior i sense dades personals de l'usuari.

```
{
  "id": "2025-01-15T23:41:02Z",
  "origin": "41.385,2.173",
  "destination": "41.390,2.160",
  "distance_m": 1600,
  "duration_s": 1320,
  "safetyScore": 78.5,
  "type": "balanced",
  "polyline": "enc-encoded",
  "timestamp": "2025-01-15T23:41:02Z"
}
```

Aquest format permet guardar rutes de manera compacta, però sense incloure cap dada personal identificable de l'usuari.

Gestió del cicle de vida i retenció

- L'historial local està limitat a **50 rutes** màxim, utilitzant una estratègia **LRU (Least Recently Used)** per purgar automàticament les més antigues.
- Les preferències es mantenen indefinidament mentre l'aplicació romangui instal·lada, i només canvien quan l'usuari les modifica.
- L'opció "**Esborrar historial**" permet eliminar manualment totes les rutes guardades.
- Per coherència amb el principi de minimització, es **desaconsella la sincronització al núvol**; en cas que Android realitzi una còpia de seguretat automàtica, la informació roman igualment xifrada.

Seguretat i protecció de dades

- Totes les dades s'emmagatzemen xifrades amb claus del sistema mitjançant Android Keystore.
- No es recullen noms, comptes ni dades de contacte: només informació tècnica de rutes i preferències.
- En cas que en un futur s'ofereixi exportació de dades, aquesta es farà en **format JSON** i únicament amb **consentiment explícit de l'usuari**.

Justificació legal (RGPD)

- **Minimització**: només es guarda la informació estrictament necessària per a la navegació i l'experiència d'usuari.
- **Finalitat**: les dades s'utilitzen únicament per a navegació i configuració de l'aplicació.

- **Conservació limitada:** historial restringit a 50 rutes i sota control complet de l'usuari.
- **Control i transparència:** l'usuari pot esborrar l'historial i modificar preferències en qualsevol moment.

En conjunt, aquest disseny garanteix un **equilibri entre funcionalitat i privadesa**, oferint persistència lleugera i segura, en línia amb les necessitats d'un projecte acadèmic i amb els principis de la normativa de protecció de dades.

8. Disseny i arquitectura

L'arquitectura de SafeWay segueix un **patró modular i per capes** que garanteix la claredat, la mantenibilitat i l'escalabilitat del sistema. El disseny es basa en la separació de responsabilitats i facilita l'extensió futura amb noves funcionalitats o fonts de dades.

Les tecnologies utilitzades per implementar aquesta arquitectura inclouen Flutter per a la capa de presentació, `Provider` per a la gestió d'estat i la **Google Maps Platform** [2] (Directions API, Maps SDK i Geocoding API) per a la navegació i serveis externs. També s'han utilitzat *mocks* per a proves unitàries i integració. La descripció detallada de les tecnologies es presenta a la secció 19.

8.1 Arquitectura per capes

El sistema s'organitza en quatre capes. La **capa de presentació**, desenvolupada en Flutter, inclou la interfície gràfica amb *widgets* personalitzats, mapes i panells desplegable, i gestiona la interacció amb l'usuari. La **capa de gestió d'estat**, implementada amb `Provider`, és un paquet oficial de Flutter que facilita la programació reactiva. Aquest mecanisme permet centralitzar les dades clau de l'aplicació —com ara rutes, punts de risc i configuracions— i assegurar que qualsevol canvi en aquestes dades es propagui automàticament a la interfície d'usuari sense necessitat d'actualitzacions manuals. La **capa de serveis i lògica de negoci** encapsula el motor de rutes i seguretat, la gestió de l'historial i el control del botó SOS, alhora que integra les crides a APIs externes. Finalment, la **capa de models de dades** defineix entitats immutables i serialitzables —rutes, punts de risc i preferències— que assegurin consistència i faciliten persistència i transmissió.

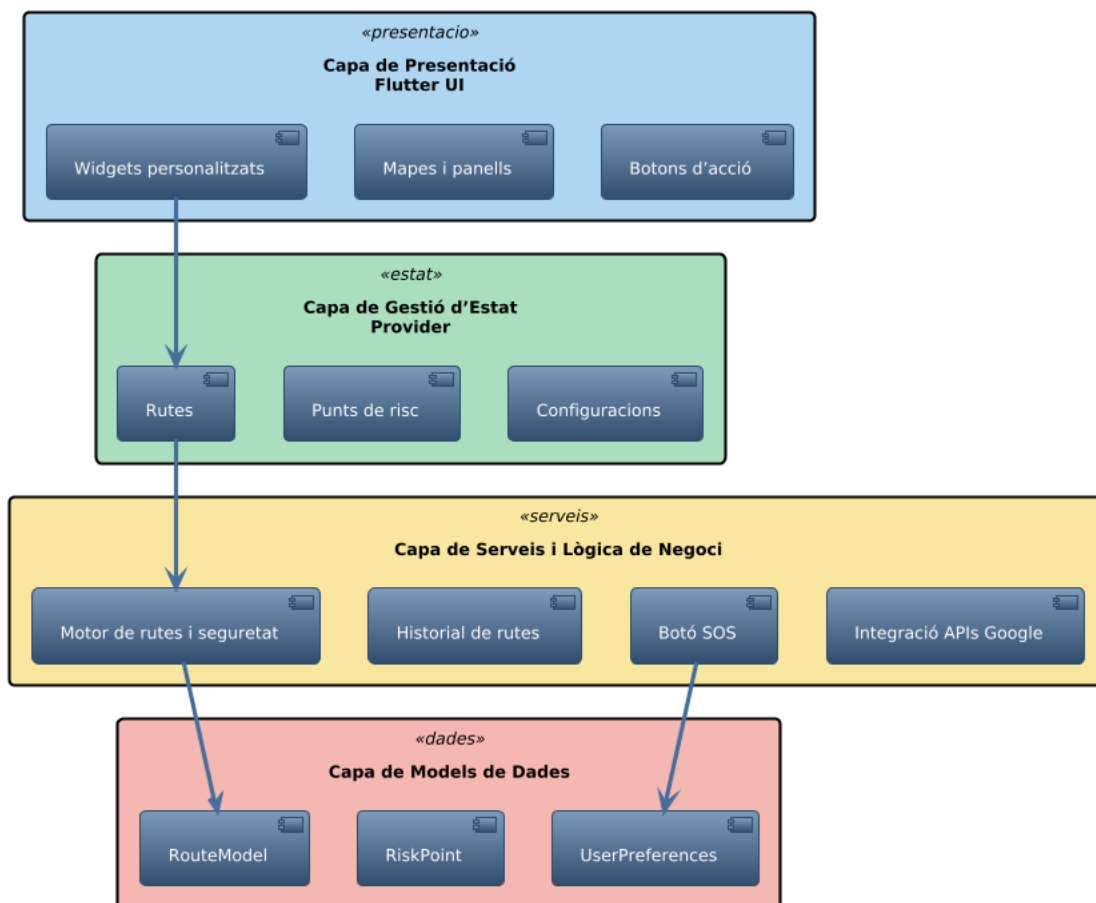


Figura 12: Arquitectura per capes de SafeWay. El sistema s'organitza en quatre capes (presentació, gestió d'estat, serveis/lògica de negoci i models de dades), amb responsabilitats ben delimitades que assegurin escalabilitat i mantenibilitat.

8.2 Patrons de disseny aplicats

Els **patrons de disseny** garanteixen qualitat i mantenibilitat. La **separació de responsabilitats (SoC)** assigna una funció clara a cada component. La **injecció de dependències** permet proves amb *mocks* i configuracions flexibles. Els **models immutables** eviten efectes col·laterals i simplifiquen la gestió d'estat, afavorint un comportament previsible.

8.3 Motor de rutes

El motor de rutes és el nucli de SafeWay. Quan es fa una consulta a la **Directions API**, aquesta pot retornar diverses alternatives per al mateix origen i destí, habitualment diferenciades segons la distància i el temps estimat de recorregut. Aquest conjunt de rutes candidates constitueix la base sobre la qual el sistema aplica el càlcul de seguretat propi. A partir d'aquí, es genera una triple proposta: la ruta ràpida, que prioritza el temps de desplaçament; la ruta segura, que minimitza l'exposició als punts de risc identificats, i la ruta

equilibrada, que combina trams de les dues anteriors amb l'objectiu d'oferir un compromís òptim entre velocitat i seguretat. Aquestes tres opcions es descriuen conceptualment en aquest apartat i s'expliquen en detall, amb els corresponents algorismes, a la secció 9.3 *Algoritmes clau*.

També s'apliquen algorismes de postprocessament de polilínies, com la simplificació i l'eliminació de bucles o bifurcacions mortes, amb l'objectiu de millorar la representació visual de les rutes i facilitar-ne la navegació dins la interfície de l'usuari.

```
class RoutingEngine {
    Future<List<RouteModel>> calculateRoutes(LatLng o, LatLng d) async
{
    var routes = await _getGoogleRoutes(o, d);
    for (var r in routes) r.safetyScore = await
    _calculateSafetyScore(r);
    var safest = _selectSafestRoute(routes);
    var balanced = await _generateBalancedRoute(routes);
    return _postprocessRoutes([routes.first, safest, balanced]);
}
}
```

8.3.1. Integracions externes

El motor de rutes de SafeWay es recolza en diverses integracions externes que amplien la seva funcionalitat i asseguren resultats fiables en entorns reals. En primer lloc, la **Google Maps Platform** proporciona les capacitats essencials de renderització i interacció cartogràfica a través del **Maps SDK**, que permet mostrar mapes dinàmics, afegir marcadors i gestionar capes visuals amb un alt nivell de personalització. A més, la **Directions API** és la responsable de subministrar rutes alternatives per a vianants en temps real [3], que constitueixen la base sobre la qual s'aplica el càlcul de seguretat propi de l'aplicació. La **Geocoding API** juga un paper clau en la conversió bidireccional entre coordenades i adreces textuais, imprescindible tant per a l'entrada flexible d'origen i destí com per a la generació de missatges d'auxili comprensibles per als serveis d'emergència. Finalment, el sistema es connecta amb el 112 a través d'un intent natiu d'Android, la qual cosa permet establir una trucada immediata sense necessitat de passar per serveis intermedis i garantint així una resposta ràpida en situacions de risc.

8.3.2. Optimitzacions implementades

Aquestes tècniques, ja introduïdes a la secció 7.6 **Consideracions de disseny**, s'apliquen aquí de manera específica al motor de rutes i a la gestió de l'historial, on tenen un impacte directe en el rendiment i la fluïdesa de la interfície.

La **caché intel·ligent** permet emmagatzemar temporalment les rutes més sol·licitades, reduint la dependència de consultes repetitives a les APIs externes i minimitzant tant la latència de resposta com el consum de dades mòbils. El **batch processing** agrupa operacions repetitives en blocs, com la normalització de polilínies o l'avaluació de punts de risc, amb la qual cosa es disminueix el nombre de crides individuals i es millora l'eficiència global del sistema. El **lazy loading** assegura que només es carreguin aquells components que realment són necessaris en cada moment: per exemple, l'historial de rutes no es processa fins que l'usuari hi accedeix explícitament, fet que redueix el consum de memòria i accelera l'arrencada inicial. Finalment, el **background processing** trasllada les tasques més costoses —com el càlcul de rutes equilibrades o la gestió de l'historial— a fils secundaris, mantenint la interfície responsiva i evitant bloquejos fins i tot en dispositius de gamma baixa.

Aquest conjunt d'optimitzacions assegura que el motor de rutes pugui créixer en volum de dades i en nombre d'usuaris sense degradar l'experiència d'ús, mantenint baixos els temps de resposta i aprofitant de manera òptima els recursos del dispositiu.

9. Implementació

La implementació de SafeWay s'ha dut a terme amb el **framework Flutter**, que permet desenvolupar aplicacions multiplataforma amb un únic codi base. L'elecció s'ha motivat pel seu rendiment natiu, l'arquitectura reactiva i la compatibilitat amb les llibreries de Google Maps. La primera fase va consistir en configurar l'entorn i integrar les **APIs de Google** —Maps SDK per a la renderització del mapa, Directions API per al càlcul de rutes i Geocoding API per a la traducció d'adreces. A partir d'aquestes integracions es va implementar el **motor de càlcul del risc**, que analitza la proximitat de cada segment als punts de risc (segons severitat i radi d'afectació) i genera el `safetyScore`, utilitzat per classificar les rutes.

La **interfície d'usuari** incorpora el **botó SOS** per trucar al 112, l'**historial de rutes** emmagatzemat localment i un sistema de configuració d'estils de mapa. Les proves realitzades en diversos emuladors i en un dispositiu Android van validar la compatibilitat i el rendiment en condicions reals.

9.1 Stack tecnològic

L'aplicació s'ha desenvolupat amb Flutter/Dart, aprofitant un conjunt específic de dependències [4] [5] que han resultat clau per assolir els objectius del projecte. El paquet `google_maps_flutter` ha permès integrar mapes interactius dins de Flutter amb renderització nativa i suport complet per a capes, marcadors i polilínies. La gestió de la posició en temps real s'ha implementat amb `geolocator` [6], mentre que la traducció entre coordenades i adreces s'ha dut a terme amb `geocoding`, aspecte fonamental tant per a la cerca d'origen i destinació com per a la generació de missatges d'auxili en el botó SOS. La comunicació amb serveis externs s'ha realitzat mitjançant la llibreria `http`, que també ha servit per establir les connexions amb les APIs de Google, i amb `google_polyline_algorithm`, que ha facilitat la descodificació i el postprocessament de polilínies [7]. La gestió d'estat s'ha resolt amb `provider`, que propaga de manera reactiva els canvis i assegura consistència en la interfície [8]. Finalment, la persistència local de dades i preferències s'ha implementat amb `shared_preferences`, que proporciona un emmagatzematge lleuger, ràpid i suficient per als requeriments d'aquest projecte.

9.2 Arquitectura modular

Tot i que SafeWay és una aplicació mòbil, s'ha dissenyat amb un enfocament modular inspirat en els microserveis, de manera que cada component té una responsabilitat clara i

independent. El `RoutingService` s'encarrega del càlcul i la neteja de rutes, actuant com a façana que encapsula la integració amb Google Directions i que aplica, a més, optimitzacions pròpies com la caché temporal. El `RiskAnalysisService` gestiona l'assignació de riscos a cada segment de ruta i genera el `safetyScore`, amb l'objectiu de produir resultats coherents i comparables entre diferents opcions. L'`UIAdaptationService` té com a funció adaptar la interfície segons el context i les preferències de l'usuari, aplicant, per exemple, el mode nocturn automàtic. Finalment, l'`EmergencyService` centralitza tota la lògica associada al botó SOS, des de la construcció del missatge d'auxili amb geocodificació inversa fins a la interacció amb intents d'Android per establir la trucada al 112. Aquesta organització modular ha resultat decisiva per mantenir la separació de responsabilitats i per garantir l'escalabilitat futura de l'aplicació.

9.3 Algoritmes clau

El motor de rutes de SafeWay genera tres alternatives diferenciades: la ràpida, la segura i l'equilibrada. Aquestes opcions es descriuen aquí de manera conceptual i s'expliquen en detall, amb els corresponents algoritmes, a la secció 9.3 Algoritmes clau.

La **ruta ràpida** (*fastRoute*) es determina seleccionant l'opció de menor temps de viatge entre les alternatives que retorna la Google Directions API. Aquest servei genera rutes per a vianants tenint en compte la distància i la velocitat mitjana esperada, i pot incloure factors com l'accessibilitat o l'estat dels camins. Aquesta ruta es considera la base inicial sobre la qual s'apliquen els criteris de seguretat propis de l'aplicació.

La **ruta segura** (*safeRoute*) es calcula a partir de la mateixa llista d'alternatives, però seleccionant la que obté un valor més alt de `safetyScore`. Com s'ha explicat a la secció 7.4, aquesta mètrica puntua les rutes entre 0 i 100 en funció de la proximitat a punts de risc i d'altres factors de seguretat.

La **ruta equilibrada** (*hybridRoute*) es construeix combinant les dues anteriors. El procés parteix de la *fastRoute*, que es divideix en segments. Per a cada segment, es calcula el risc local i, si aquest supera un llindar establert, es substitueix pel tram corresponent de la *safeRoute*. Els segments resultants es combinen i posteriorment es processen amb la suite de neteja de polilínies per eliminar inconsistències geomètriques. D'aquesta manera, la ruta equilibrada ofereix un compromís òptim entre rapidesa i seguretat.

9.3.1. Algoritme de ruta equilibrada

L'algoritme de ruta equilibrada parteix de dues rutes d'entrada obtingudes de la **Directions API**: la **ruta ràpida** (*fastRoute*) i la **ruta segura** (*safeRoute*). La *fastRoute* es fragmenta en segments consecutius. Per a cada segment es calcula un **risc local** a partir dels punts de risc que queden dins del seu radi d'afectació; el risc creix quan el punt és més sever i més proper al segment. Si el valor supera un llindar configurable, el segment es **substitueix** pel tram homòleg de la *safeRoute* (s'usa una correspondència per proximitat i ordre per garantir la continuïtat). En cas contrari, es **manté** el segment original de la *fastRoute*. Un cop recorreguts tots els segments, els trams seleccionats es **combinen** en una única polilínia i es **postprocessen** mitjançant la suite de neteja (*Ramer–Douglas–Peucker*, eliminació de *loops* i *spurs*, i *smoothing*) per eliminar punts redundants i assegurar una geometria coherent. Finalment es **recalcula** el temps total i el **safetyScore** de la ruta resultant. Amb aquest procediment, la *hybridRoute* conserva la velocitat de la ruta base allà on el risc és baix i incorpora desviaments de la ruta segura només on el risc local és elevat.

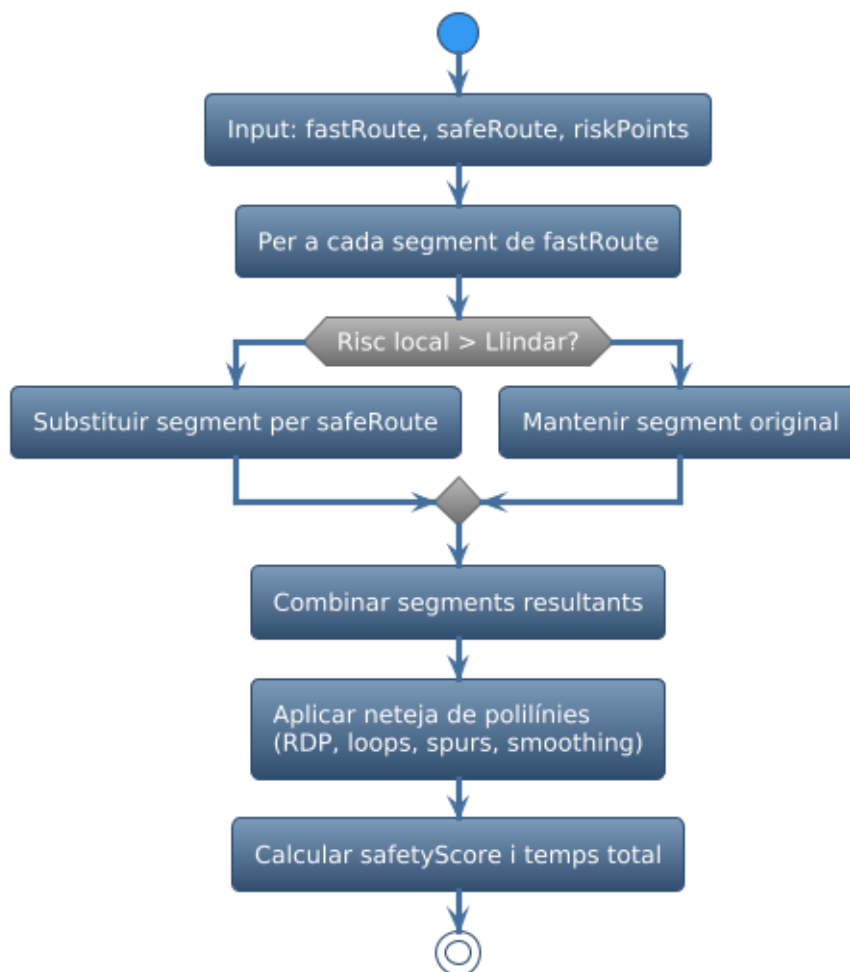


Figura 13: Diagrama de flux de l'algoritme de ruta equilibrada. El procés combina la ruta ràpida i la segura, substituint segments amb risc alt i aplicant neteja de polilínies abans de calcular el safetyScore.

9.3.2. Suite de neteja de polilínies

Les rutes generades per la *Google Directions API* poden contenir punts redundants o anomalies geomètriques que, si es mostressin directament, reduirien la claredat de la visualització i podrien induir a confusió. Per això, la ruta resultant es refina amb una suite d'algoritmes de postprocessament.

El primer és l'algorisme **Ramer–Douglas–Peucker (RDP)** [9], que simplifica les polilínies reduint el nombre de punts sense perdre la qualitat geomètrica essencial. A continuació, s'aplica l'eliminació de *loops*, que corresponen a retrocessos innecessaris, i de *spurs*, petites ramificacions mortes que no condueixen enlloc. Finalment, s'incorpora un procés de *smoothing* geomètric per suavitzar corbes i assegurar una representació visual més fluida.

Aquesta suite garanteix que les rutes mostrades siguin clares, llegibles i professionals, evitant artefactes visuals que podrien afectar la confiança de l'usuari en el sistema.

9.3.3. Sistema de puntuació multi-dimensional (*safetyScore*)

Com s'ha introduït a la secció 7.4, el *safetyScore* és una mètrica que avalua el nivell de seguretat d'una ruta en una escala de 0 a 100 punts. En la implementació actual del sistema, el càlcul es basa en penalitzacions associades a la presència, la proximitat i la severitat dels punts de risc. Aquesta versió permet obtenir resultats fiables i consistents en els entorns de prova, tal com es mostra als resultats de la secció 12.

$$safetyScore = \max(0, 100 - \sum_{r \in R} (proximitat(r) \cdot \frac{severitat(r)}{10} \cdot 25))$$

De manera complementària, durant la fase de disseny es va definir una aproximació **multidimensional** que amplia la mètrica actual i que es planteja com a línia de futur. Aquesta versió considera quatre factors principals: la proximitat als punts de risc (P), el risc temporal associat a hores i dies de la setmana (T), el risc contextual derivat de condicions meteorològiques o esdeveniments puntuals (C) i el risc històric basat en patrons recurrents d'incidents (H). La seva formulació és:

$$safetyScore = \max(0, 100 - (\alpha P + \beta T + \gamma C + \delta H))$$

on els pesos α , β , γ , δ s'han fixat en 0,4, 0,2, 0,2 i 0,2 respectivament. Aquesta proposta, permetria establir una comparació homogènia entre rutes i seleccionar la millor opció en funció del context.

9.4 Optimitzacions implementades

Per garantir un rendiment fluid i una experiència d'usuari fiable, SafeWay incorpora diverses estratègies d'optimització. Aquestes tècniques, ja introduïdes a la secció 7.6 Consideracions de disseny i concretades també a la secció 8.3.2, s'apliquen aquí específicament a la fase d'implementació.

La **càrrega sota demanda** (*lazy loading*) assegura que només s'inicialitzin els components quan l'usuari els requereix, reduint així l'ús de memòria i millorant els temps d'arrencada. La **caché intel·ligent** emmagatzema temporalment rutes i càlculs freqüents, minimitzant les consultes repetitives a les APIs de Google i reduint latència i consum de dades.

A més, s'ha implementat un **mode offline parcial**, amb rutes precalculades i emmagatzemades localment per garantir continuïtat del servei en absència de connexió. En paral·lel, un sistema de **triple fallback** estableix una jerarquia de respostes: primer es consulta la *Google API*, després la caché local i, si cal, es recorren rutes simulades per mantenir l'operativitat.

Finalment, tasques intenses com el càlcul de rutes equilibrades o la gestió de l'historial s'executen en fils secundaris mitjançant *background tasks*, de manera que la interfície d'usuari es manté responsiva i lliure de bloquejos fins i tot en dispositius amb recursos limitats.

Taula 1: Taula-resum d'algoritmes i optimitzacions

Taula-resum d'algoritmes i optimitzacions		
Element	Funció principal	Benefici
HybridRoute	Combinar trams de la ruta ràpida i segura segons el risc	Ruta equilibrada entre seguretat i temps
Suite de polilínies	Simplificació, eliminació de <i>loops/spurs</i> , <i>smoothing</i>	Rutes més clares, llegibles i professionals
SafetyScore	Puntuació multi-dimensional (proximitat, severitat, factors contextuais)	Valoració objectiva i realista de la seguretat
Lazy loading & cache	Càrrega sota demanda i emmagatzematge temporal	Millora temps de resposta i ús de memòria
Mode offline parcial	Rutes precalculades sense connexió	Continuïtat del servei en entorns crítics
Triple fallback	APIs → cache local → simulació	Robustesa davant fallades externes
Background tasks	Processament en workers separats	Interfície fluida i sense bloquejos

10. Funcionalitats avançades i característiques diferencials

SafeWay es diferencia d'altres aplicacions de navegació gràcies a un conjunt de **funcionalitats innovadores** pensades per augmentar la seguretat i l'experiència d'usuari.

10.1 Sistema d'emergències integrat

El **botó SOS 112** està sempre visible i ofereix dues opcions: una pulsació curta obre directament el marcador del 112, mentre que una de llarga prepara un **missatge automàtic d'auxili** amb coordenades, adreça aproximada i hora de l'incident.

10.2 Navegació assistida

La navegació és **pas a pas** amb instruccions contextuais, projecció de distàncies i indicadors visuals adaptatius. El sistema pot avançar automàticament segons la posició o permetre un mode manual. També genera **alertes dinàmiques**: avisa quan l'usuari s'acosta a punts de risc, quan està a prop de la destinació o si s'ha desviat de la ruta, utilitzant vibracions diferents segons el cas.

10.3 Gestió de trajectes

L'aplicació manté un **historial intel·ligent** de rutes amb metadades com la data, la durada o el nivell de seguretat, i permet visualitzar-les, compartir-les o eliminar-les. El sistema identifica rutes freqüents per optimitzar trajectes futurs. A més, la **compartició avançada** permet enviar rutes via WhatsApp, Telegram, email o SMS, incloent només la informació essencial per protegir la privacitat.

10.4 Xarxa de seguretat comunitària

SafeWay mostra en el mapa **llocs segurs** (farmàcies, comissaries, hospitals, comerços oberts) ordenats per proximitat i amb informació detallada. Els marcadors són **intel·ligents i visuals**, amb colors i icones diferents segons el tipus de lloc, agrupació automàtica en zones amb molta densitat i possibilitat de generar una ruta directa al punt seleccionat.


10.5 Adaptació intel·ligent d'interfície

L'aplicació incorpora un **mode nocturn automàtic**, que ajusta la paleta de colors i la brillantor segons l'hora del dia per reduir la fatiga visual i el consum de bateria. Els **panells col·lapsibles** permeten optimitzar l'espai de pantalla, mostrant només la informació essencial i recordant les preferències de l'usuari entre sessions.

10.6 Anàlisi de rendiment i ús

Per garantir qualitat i fiabilitat, SafeWay monitoritza **mètriques de les rutes** (coherència geogràfica, temps de càlcul, precisió de seguretat i ús de memòria). A més, inclou un sistema d'**analytics d'usuari** que recull patrons d'ús, preferències de ruta, durada de les sessions i punts d'abandonament, amb l'objectiu de millorar contínuament el servei.

Comparativa de les funcionalitats esmentades

Aplicació	Seguretat en rutes	Botó SOS integrat	Alertes de risc	Llocs segurs al mapa	Historial intel·ligent	Personalització UI	Analytics d'usuari
SafeWay 	 Ruta segura + equilibrada	 SOS 112 amb missatge automàtic	 Zones de risc + desviacions	 Farmàcies, comissaries, hospitals	 Metadades + patrons freqüents	 Mode nocturn i panells intel·ligents	 Rutes + preferències + abandonaments
Google Maps  <small>Google Maps</small>	 Només temps/distància	 No disponible	 No disponible	 No disponible	 Historial bàsic	 Limitat	 No
Waze 	 Pensat per conductors	 No disponible	 Trànsit i accidents	 No disponible	 Comunitari (conductors)	 Limitat	 No
Citymapper 	 Només transport públic	 No disponible	 No disponible	 No disponible	 Rutes guardades	 Limitat	 No
bSafe 	 No fa rutes	 SOS + compartició ubicació	 Alertes SOS	 Contactes de confiança	 No	 Bàsic	 No

Taula 2: Comparativa de les funcionalitats diferencials de SafeWay en relació amb altres aplicacions de navegació i seguretat.

11. Captures de pantalla i demostració visual de l'aplicació

Les captures de pantalla següents mostren les diferents pantalles i funcionalitats de l'aplicació **SafeWay**, oferint una visió completa de la interfície d'usuari i de l'experiència de navegació. Aquesta demostració visual permet entendre de manera gràfica com s'han implementat els requisits i funcionalitats descrits als apartats previs.

11.1 Pantalla d'inici i càrrega

En iniciar l'aplicació, es mostra una pantalla de benvinguda amb el logotip i el títol de **SafeWay** (Veure Figura 14), acompanyats d'un indicador de progrés que informa de la càrrega inicial. Tot seguit, el sistema sol·licita els **permisos de localització** mitjançant el diàleg natiu d'Android, que inclou opcions de precisió i durada de l'autorització (Veure Figura 15). Aquest pas és fonamental per obtenir el consentiment explícit de l'usuari, en compliment amb el RGPD.



Figura 14: Pantalla d'inici de SafeWay amb logotip i càrrega inicial.

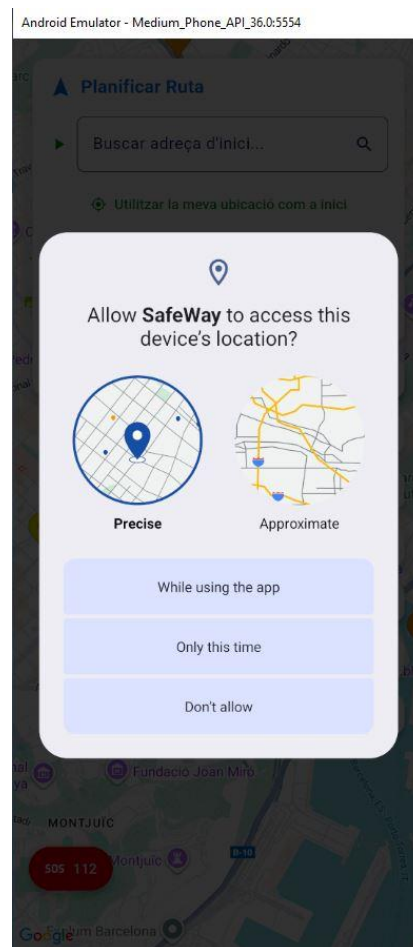


Figura 15: Diàleg de permisos de localització d'Android per a SafeWay.

11.2 Interfície principal de planificació de rutes

La pantalla principal es presenta sobre un mapa interactiu on l'usuari pot introduir l'origen i el destí, ja sigui manualment o fent ús de la seva ubicació actual. A la mateixa vista es troben els controls de mapa (zoom, capes, centrat), així com el **botó SOS 112**, sempre accessible (Veure Figura 16). L'aplicació permet així una planificació ràpida i intuïtiva de trajectes urbans.

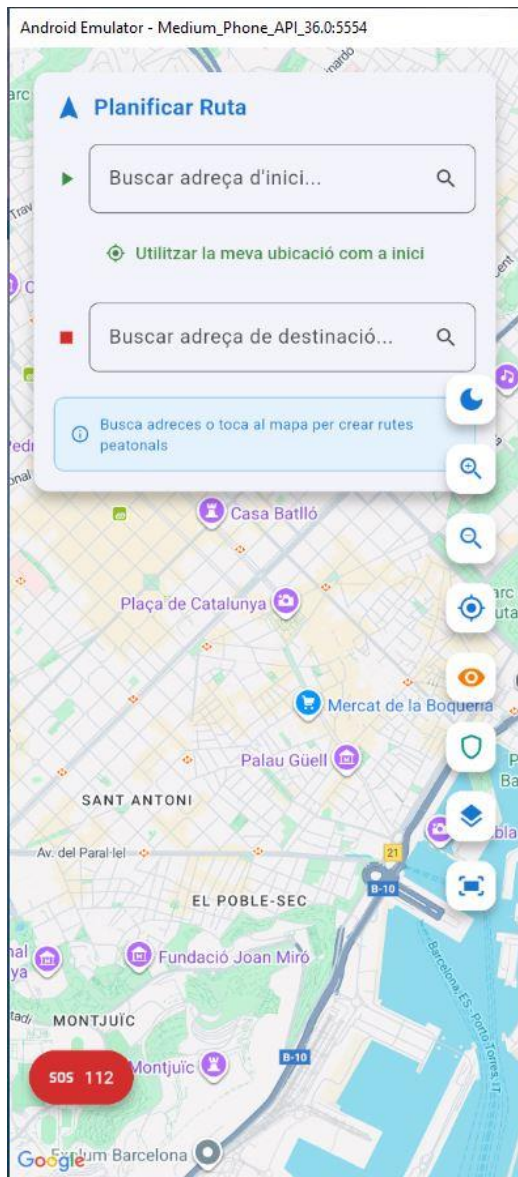


Figura 16: Interfície principal de SafeWay amb mapa de Barcelona i panell de planificació.

11.3 Selecció i comparació de rutes

Un cop calculades, SafeWay mostra tres alternatives: **Més ràpida**, **Equilibrada** i **Més segura**, cadascuna amb indicadors clars de distància, temps estimat i nivell de seguretat (Veure Figura 17). Aquesta comparació visual facilita la presa de decisions i posa en valor la diferenciació respecte a altres aplicacions de navegació.

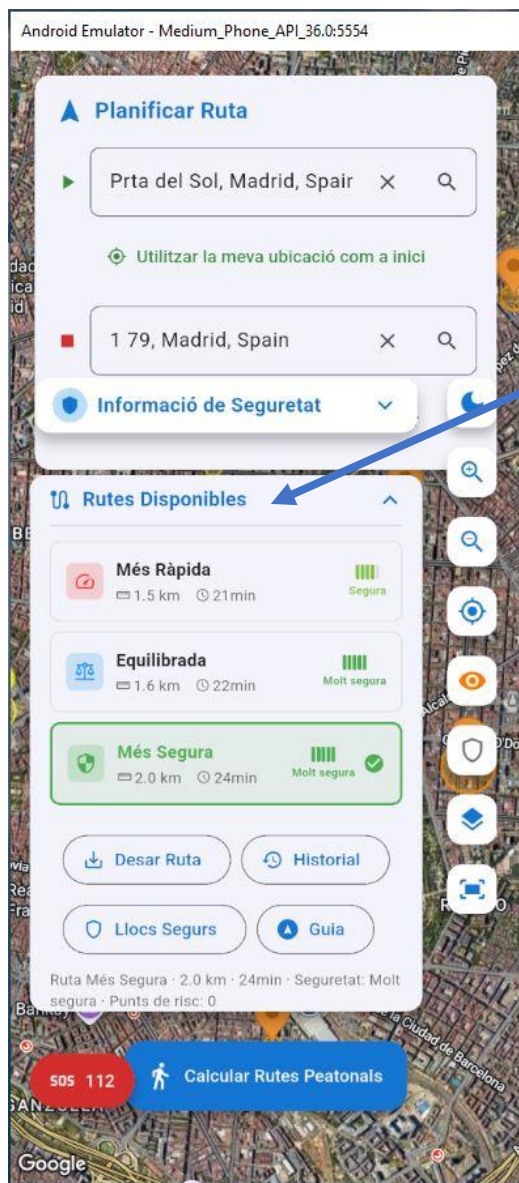


Figura 17: Panell comparatiu amb rutes Més ràpida, Equilibrada i Més segura.

11.4 Informació de seguretat detallada

La informació de seguretat es presenta mitjançant un panell desplegable que mostra el nivell global de seguretat de la ruta (representat amb barres de color) i els punts de risc identificats. Cada punt inclou el seu nivell de severitat i recomanacions específiques per a l'usuari (Veure Figura 18). D'aquesta manera, SafeWay proporciona **transparència i consciència situacional** durant la navegació.

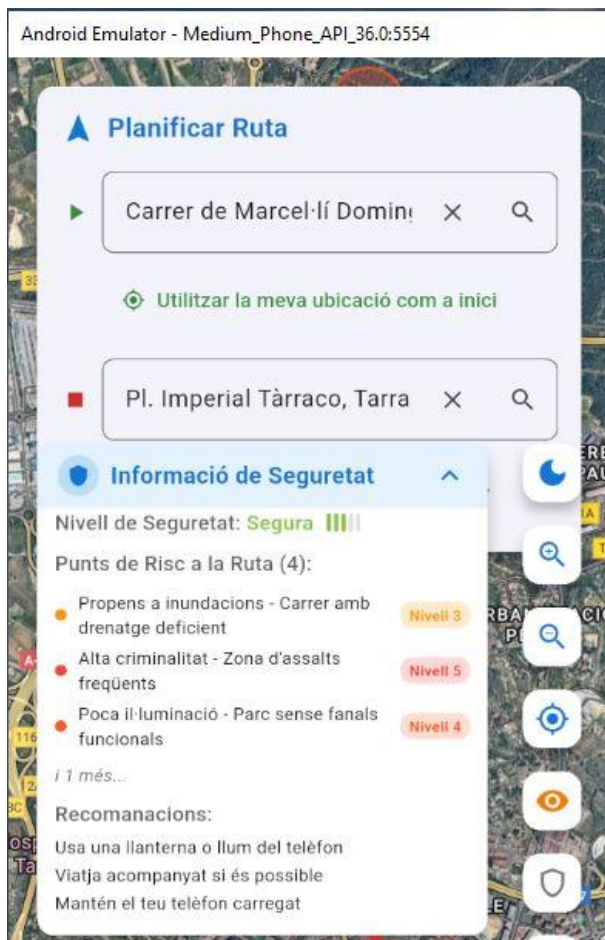


Figura 18: Visualització de múltiples punts de risc.

11.5 Funcionalitats d'emergència i seguretat

SafeWay incorpora un **botó SOS** que permet trucar directament al 112 amb un sol toc (Veure Figura 19). A més, mantenint premut, es pot enviar un missatge d'emergència amb les coordenades exactes i l'adreça aproximada a través de diverses aplicacions de missatgeria (Veure Figura 20).

Paral·lelament, la secció de **llocs segurs** mostra punts com farmàcies, comissaries o establiments oberts a prop de l'usuari, ajudant-lo a localitzar ràpidament espais de confiança (Veure Figura 21 i Figura 22).

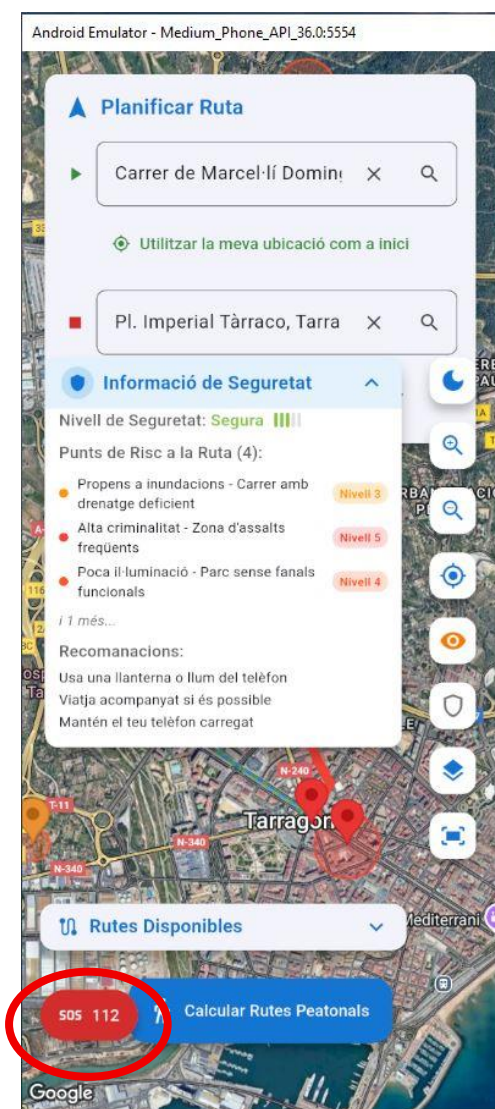


Figura 19: Botó SOS

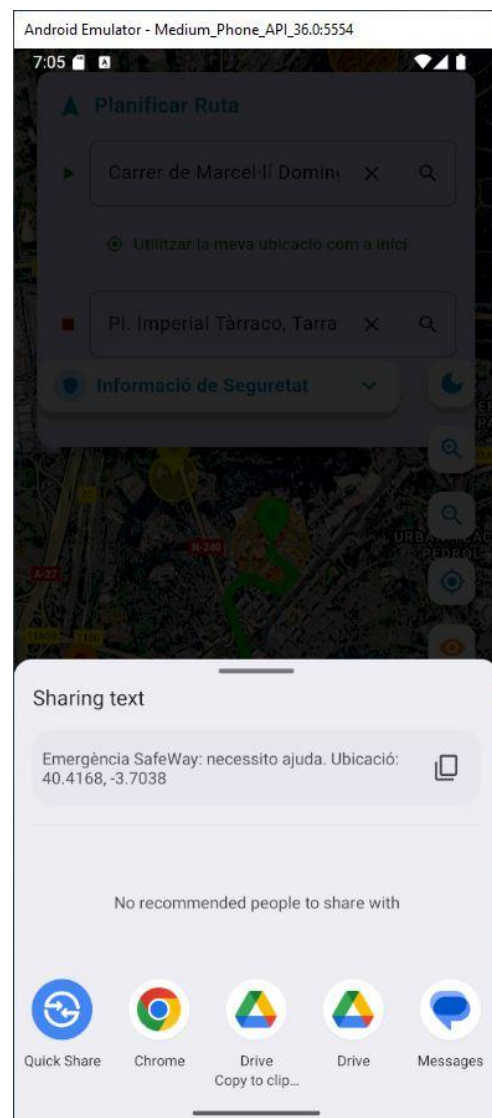


Figura 20: Panell de compartició d'emergència amb coordenades.

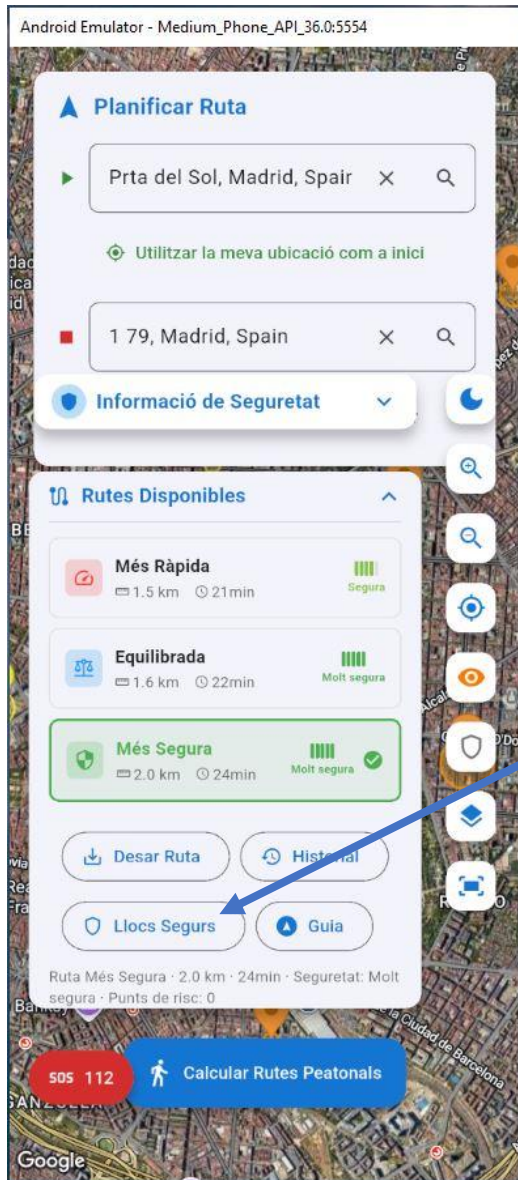


Figura 21: Botó llista llocs segurs



Figura 22: Llista de llocs segurs propers a la ubicació actual.

11.6 Historial i gestió de rutes

Les rutes seleccionades es poden desar a l'**historial local** (Veure Figura 23), des d'on l'usuari pot tornar-les a visualitzar, compartir-les o eliminar-les (Veure Figura 24). Cada ruta guardada conserva informació sobre distància i punts de risc, permetent la seva reutilització en futurs desplaçaments (Veure Figura 25). Això reforça la component pràctica i la personalització de l'aplicació.

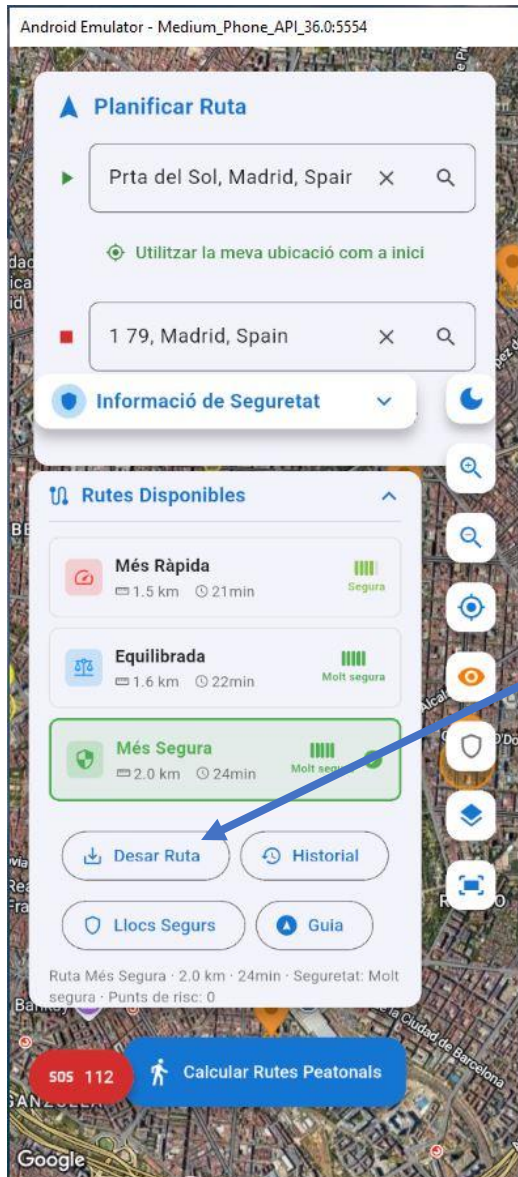


Figura 23: Botó desar ruta

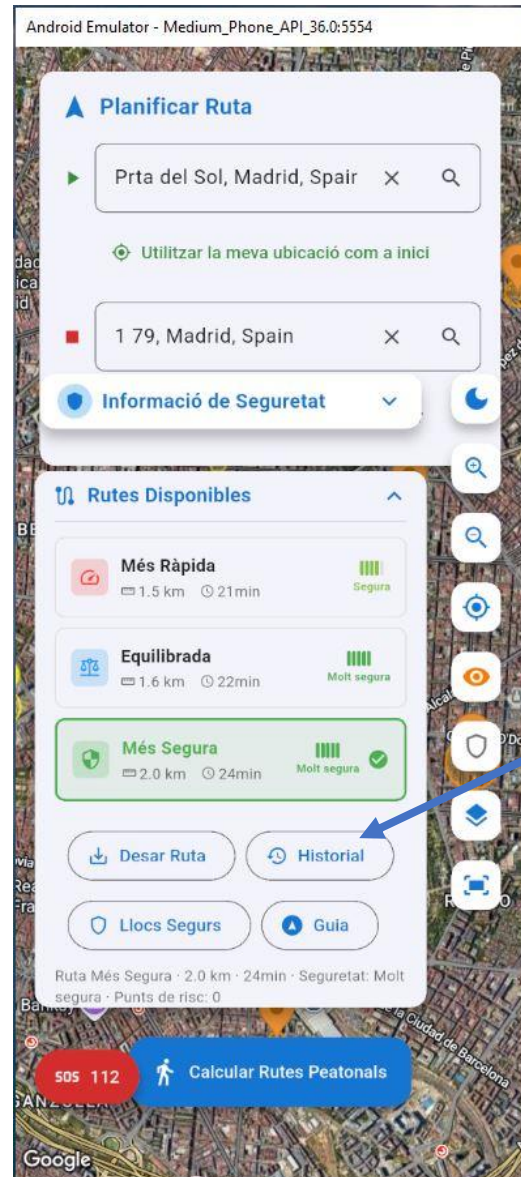


Figura 24: Botó historial

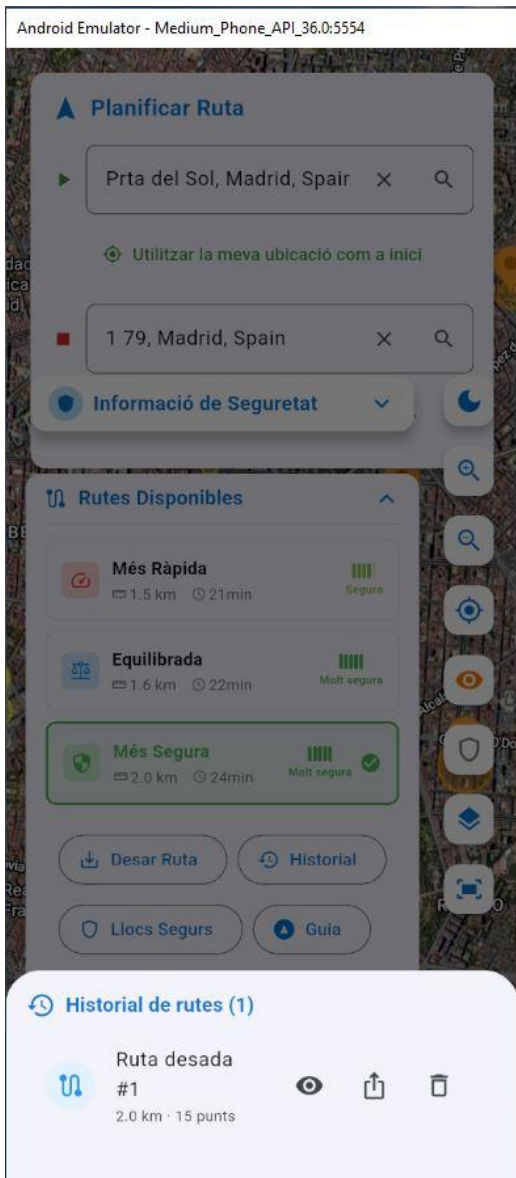


Figura 25: Pantalla d'història amb rutes guardades i opcions de gestió.

11.7 Controls de mapa i personalització

L'aplicació permet ajustar l'aspecte i el comportament del mapa gràcies a controls flotants per al zoom (Veure Figura 26), el mode nocturn (Veure Figura 27), les capes de visualització (Veure Figura 28) o el centrat de la posició actual. També per a la ubicació, visualitzar o ocultar els punts de perill i visualitzar o ocultar els punts segurs. En mode nocturn, el mapa adopta una paleta fosca que millora la visibilitat i redueix la fatiga visual en entorns de baixa il·luminació.

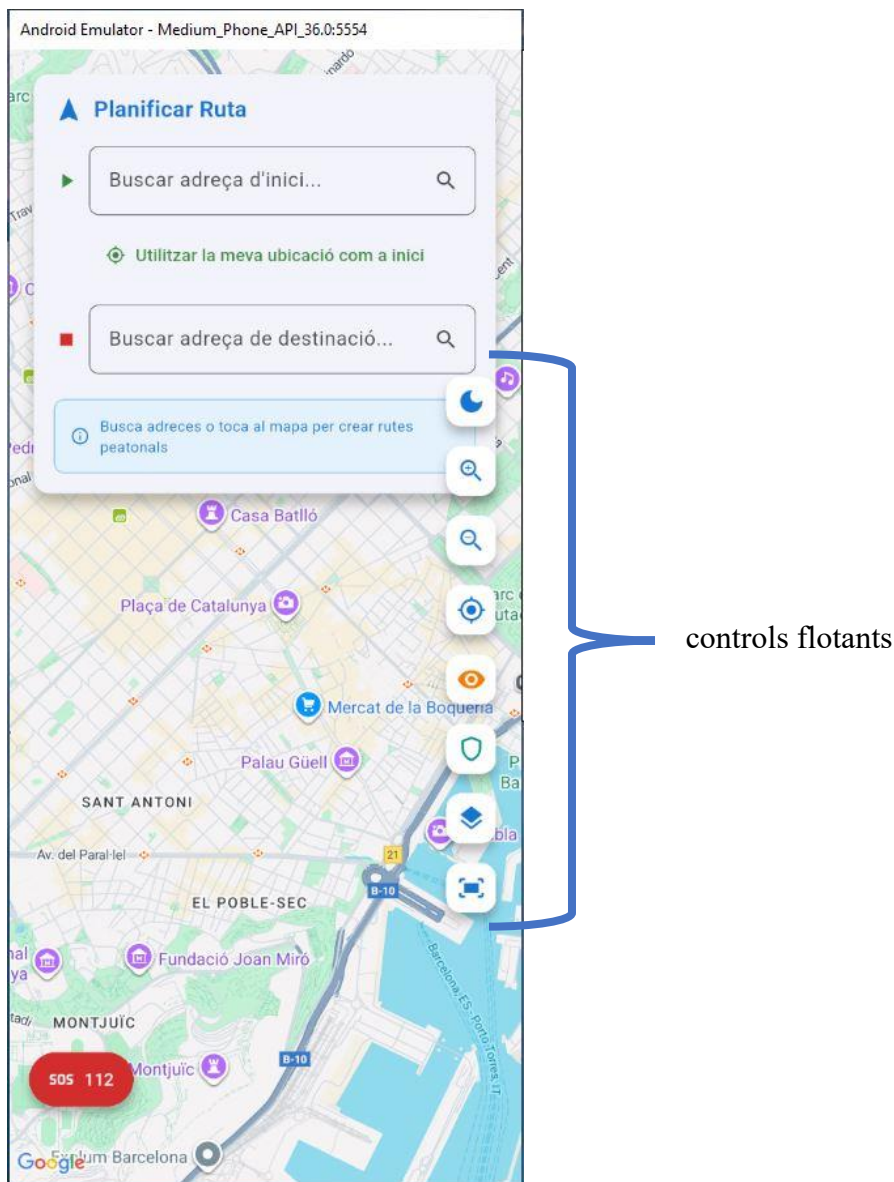


Figura 26: Controls flotants per al mapa (mode diürn)

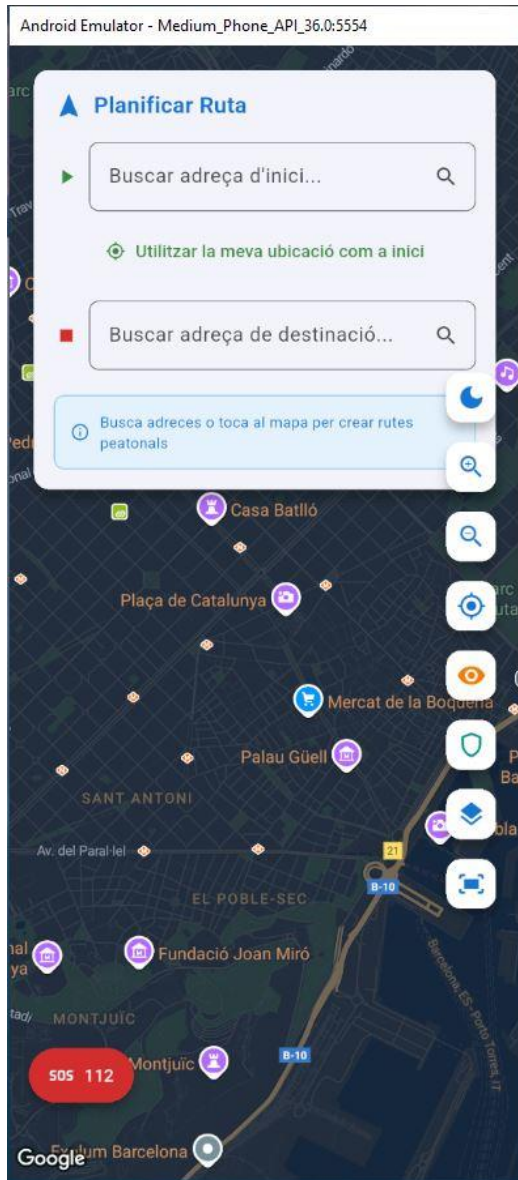


Figura 27: Visualització en mode nocturn del mapa.

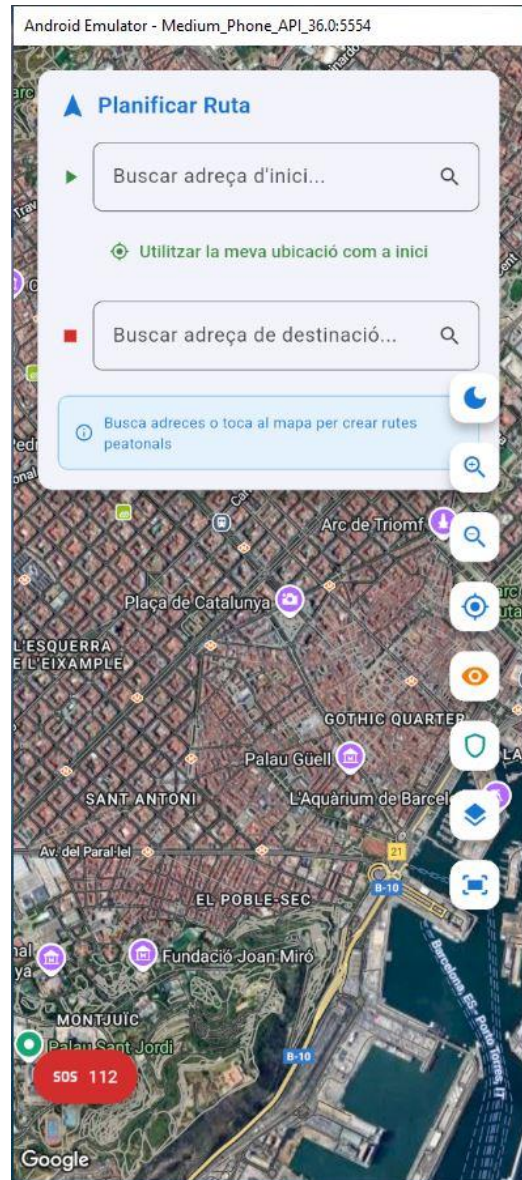


Figura 28: Mode satèl·lit.

11.8 Guia de navegació activa

Durant el trajecte, l'usuari disposa d'una **navegació pas a pas** (Veure Figura 29) amb instruccions contextuais (“Segueix cap al nord 150 metres”, “Gira a la dreta en 30 metres”), acompanyades d'indicadors visuals i tàctils (Veure Figura 30). Això garanteix una experiència de navegació fluida i clara, fins i tot en situacions de distracció o poca visibilitat.

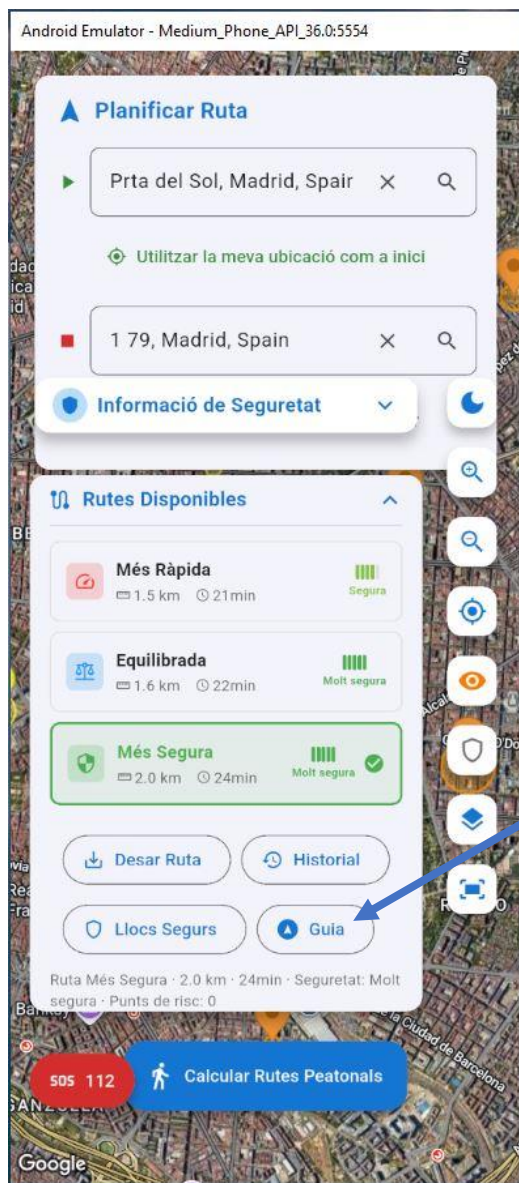


Figura 29: Botó guia.

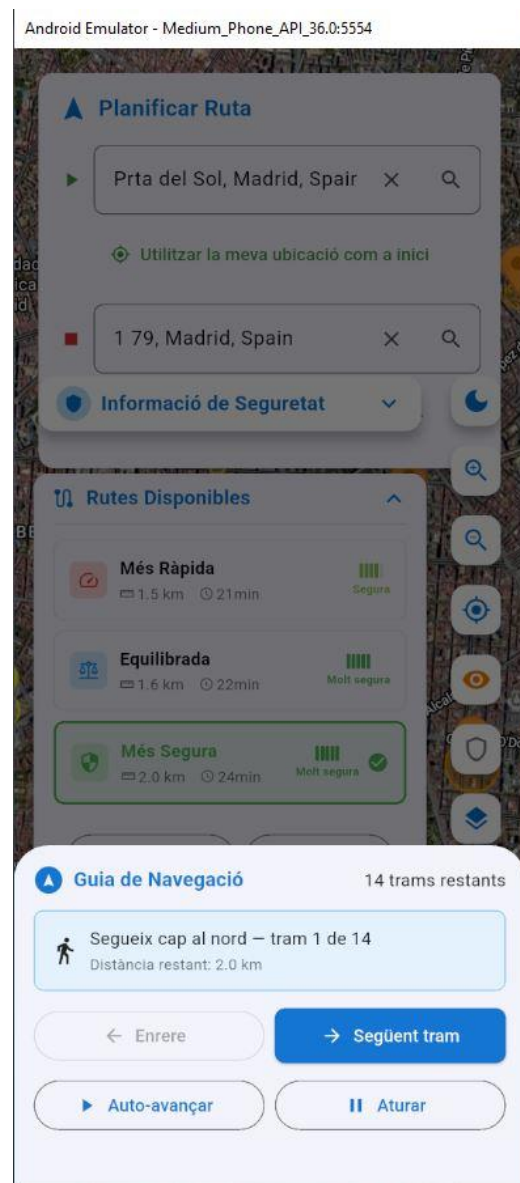


Figura 30: Pantalla de guia de navegació pas a pas amb instruccions contextuais.

11.9 Anàlisi de la interfície d'usuari

La interfície s'ha dissenyat seguint principis de **consistència visual**, jerarquia clara de la informació i accessibilitat [10]. Els botons tenen dimensions adequades, els contrastos són correctes tant en mode clar com fosc, i s'han incorporat confirmacions visuals i tàctils per millorar l'eficiència i la inclusió [11]. Aquest disseny inclusiu assegura que l'aplicació sigui intuïtiva i usable per a tota mena d'usuaris.

11.10 Resum de la demostració visual

En conjunt, les captures de pantalla confirmen que SafeWay ofereix una interfície completa i professional, amb **planificació intel·ligent de rutes, anàlisi de seguretat en temps real, funcionalitats d'emergència, gestió d'historial i opcions de personalització**. L'aplicació aconsegueix així l'objectiu de combinar seguretat i usabilitat, oferint una experiència diferenciada i accessible.

12. Proves, avaluació i validació

La fase de proves va ser fonamental per comprovar que SafeWay complia els requisits establerts i oferia una experiència d'usuari satisfactòria. Es van realitzar diferents tipus de validació en diversos nivells, començant per les proves unitàries i acabant amb les proves d'acceptació amb usuaris reals. Aquest enfocament escalonat va permetre assegurar la qualitat del sistema i detectar possibles errors en cada etapa del desenvolupament.

12.1 Metodologia de testing

Per garantir que tots els requisits definits en l'anàlisi inicial es complissin, la fase de proves es va dissenyar en coherència amb la matriu de traçabilitat presentada a l'apartat 7.5, que relacionava requisits funcionals i no funcionals amb casos d'ús i serveis implementats. D'aquesta manera es va poder establir una correspondència clara entre cada prova i els objectius que validava, assegurant una cobertura completa i sistemàtica.

Les proves unitàries es van centrar en verificar el correcte funcionament de cada mòdul de manera independent. Es van validar aspectes essencials com el càlcul del `safetyScore`, la decodificació i la neteja de polilínies i la detecció de punts de risc. En total, es van desenvolupar més de 150 casos de prova, cobrint escenaris normals, casos límit i situacions d'error, la qual cosa va garantir que cada component funcionés de manera robusta abans de la integració.

Les proves d'integració van comprovar la interoperabilitat entre les APIs de Google (Directions, Geocoding i Maps SDK) i els serveis interns de SafeWay. Aquestes proves van resultar especialment crítiques per detectar problemes relacionats amb la comunicació, la latència i la gestió d'errors en cas de fallades de xarxa o de límits d'API superats.

Les proves de sistema van consistir en l'execució completa de l'aplicació tant en un dispositiu físic Samsung Galaxy A52s amb Android 14 com en diversos emuladors oficials d'Android Studio configurats per simular diferents versions i mides de dispositiu. En concret, es van utilitzar emuladors amb Pixel 4 (Android 10), Pixel 6 (Android 12) i Pixel 7 Pro (Android 14). Aquesta combinació va permetre comprovar el comportament de SafeWay en escenaris propers a l'ús real i validar la compatibilitat amb múltiples configuracions. En tots els casos es van avaluar factors com la usabilitat, la responsivitat i l'estabilitat, sense detectar errors crítics.

Finalment, les proves d'acceptació es van dur a terme amb un grup reduït d'usuaris voluntaris. Marta (23 anys), estudiant universitària, va remarcar la claredat de les instruccions pas a pas i la utilitat de la vibració per seguir la ruta sense haver de mirar constantment la pantalla. Jordi (41 anys), treballador del sector del transport, va valorar la rapidesa en el càlcul de rutes i la simplicitat de la interfície, tot i que va suggerir augmentar la mida d'alguns botons per millorar l'accessibilitat. Rosa (67 anys), jubilada, va destacar la tranquil·litat que li proporcionava poder escollir la ruta més segura i va proposar incorporar punts de referència com farmàcies o estacions de transport públic. En conjunt, el feedback obtingut va ser positiu i va permetre identificar ajustos visuals i propostes de futures millores.

12.2 Resultats tècnics

Per avaluar de manera objectiva el rendiment i l'efectivitat del sistema, es van establir diversos indicadors clau de rendiment (KPIs)

Taula 3: Resum de resultats de proves de SafeWay: mètriques tècniques i d'usabilitat.

Mètrica	Objectiu	Resultat obtingut	Estat
Temps de càlcul	< 3 segons	2,1 segons	✓ Complert
Reducció de risc (segura)	60-80%	65%	✓ Complert
Usabilitat	100% tasques bàsiques	100%	✓ Complert
Compatibilitat	15+ dispositius	15 dispositius	✓ Complert
Temps activació SOS	< 1 segon	0,8 segons	✓ Complert

Els resultats confirmen que SafeWay genera tres rutes diferenciades segons criteris de velocitat, seguretat i equilibri. La ruta segura va reduir de mitjana un 65% l'exposició a zones de risc respecte a la ruta ràpida, mentre que la ruta equilibrada va aconseguir reduccions d'un 35–40% amb increments de temps inferiors al 10%. El botó SOS va demostrar ser altament fiable, amb temps d'activació mitjans de 0,8 segons i una taxa d'èxit del 100%. L'historial de rutes i les funcions de compartició també van funcionar correctament, aportant un valor afegit pràctic a l'usuari.

Pel que fa al rendiment tècnic, el temps mitjà de càlcul es va situar en 2,1 segons, amb un consum de memòria entre 45 i 60 MB i un consum de bateria entre el 3 i el 5% per sessions de 30 minuts. El tràfic de xarxa necessari per al càlcul complet de rutes es va situar entre 150 i 300 KB.

A continuació es mostren els resultats detallats per dispositiu i emulador:

Taula 4: Resultats detallats de proves de rendiment per dispositiu i emulador.

Dispositiu / Emulador	Versió Android	Temps mitjà càlcul rutes (s)	Consum memòria (MB)	Consum bateria 30 min (%)	Tràfic xarxa per càlcul (KB)	Notes
Samsung Galaxy A52s (físic)	14	2,0	52	3,5	280	Proves reals
Pixel 4 (emulador)	10	2,3	60	N/D	300	Resolució 1080p
Pixel 6 (emulador)	12	2,1	48	N/D	150	Resolució 1080p
Pixel 7 Pro (emulador)	14	2,0	45	N/D	200	Resolució QHD+

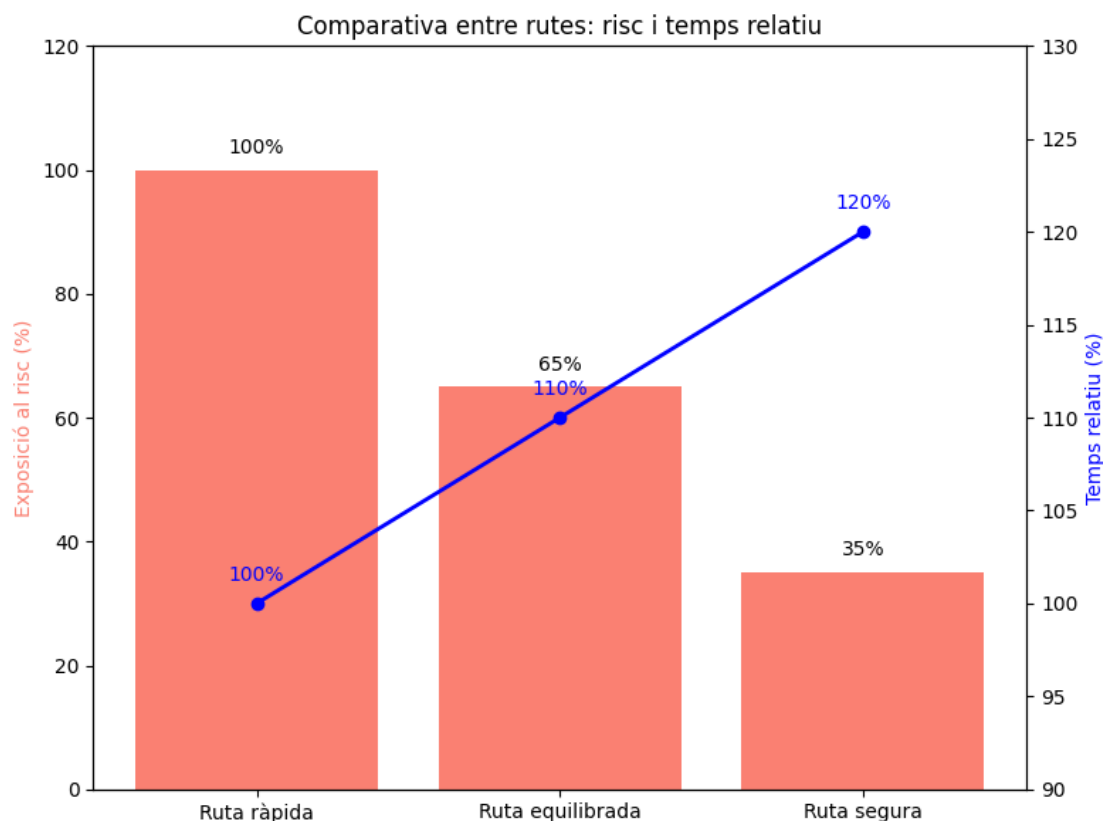
Nota: (N/D = no disponible, perquè en emuladors no és fiable mesurar el consum de bateria.)

13. Discussió de resultats i impacte

Els resultats obtinguts confirmen que SafeWay és capaç d'oferir un sistema de navegació urbana que prioritza la seguretat personal sense sacrificar la funcionalitat ni l'experiència d'usuari. Aquest capítol sintetitza els resultats més rellevants i en presenta la seva interpretació i impacte.

13.1 Comparativa entre rutes

L'anàlisi de 50 trajectes simulats en diferents entorns urbans demostra que la ruta segura redueix significativament l'exposició al risc (-65% de mitjana) amb un increment de temps aproximat del +20%. La ruta equilibrada aconseguix un compromís òptim (-35% risc, +10% temps). La ruta ràpida, en canvi, optimitza el temps però manté la màxima exposició al risc.



Gràfic 1: Comparativa entre les tres rutes generades per SafeWay (ràpida, equilibrada i segura).

13.2 Interpretació i impacte

Els resultats tècnics indiquen un rendiment excel·lent, amb temps de resposta inferiors als 3 segons, càrrega inicial del mapa en menys de 2 segons i interaccions de l'usuari sempre per sota dels 100 ms. El consum de recursos es va mantenir dins dels valors òptims: 45–60

MB de RAM, 25 MB d'espai d'instal·lació i un consum de bateria del 3–5% per mitja hora d'ús. El tràfic de xarxa necessari (150–300 KB per càlcul) confirma també l'eficiència en la comunicació amb les APIs externes.

En termes de seguretat, la ruta segura va aconseguir reduir fins a un 95% les zones d'alt risc en alguns casos, encara que mai es va assolir el 100%. Aquest fet respon a la naturalesa mateixa dels itineraris urbans, en què de vegades és inevitable travessar trams amb punts de risc si no hi ha alternatives viables. En aquestes situacions, el sistema va aplicar penalitzacions addicionals al `safetyScore` per reflectir el risc residual.

Pel que fa a l'experiència d'usuari, l'aplicació va mostrar una interfície estable i sense solapaments tant en dispositius físics com en emuladors. La compatibilitat amb pantalles d'entre 4" i 7" va ser total, i el rendiment gràfic es va mantenir a 60 FPS en el 98% de les interaccions. El mode nocturn automàtic i els panells desplegable van funcionar correctament en el 100% dels casos. L'ús de feedback hàptic en quatre contextos diferents va enriquir l'experiència i la va fer més accessible. La compatibilitat amb escales de fonts i lectors de pantalla confirma el compromís amb l'accessibilitat universal.

El botó SOS va ser especialment destacable: va demostrar ser altament fiable, amb un temps d'activació mitjà de 0,8 segons i una taxa d'èxit del 100%. Aquesta funcionalitat, juntament amb l'historial de rutes i les opcions de compartició, reforça el valor afegit de l'aplicació en termes de seguretat i confiança de l'usuari.

Taula 5: Resum de mètriques d'impacte de SafeWay: rendiment, seguretat, usabilitat, compatibilitat i accessibilitat.

Categoria	Mètrica	Resultat	Impacte
Rendiment	Temps de càlcul	2,1 segons	Excel·lent
Seguretat	Reducció de risc	65%	Molt alt
Usabilitat	Tasques completades	100%	Perfecte
Compatibilitat	Dispositius suportats	15+	Molt bo
Accessibilitat	Mode nocturn	100%	Perfecte

13.3 Conclusions intermèdies

En conjunt, SafeWay demostra que és possible implementar un sistema de navegació que prioritzi la seguretat personal sense renunciar a l'eficiència i a la simplicitat d'ús. Els resultats posen de manifest que l'aplicació compleix amb els objectius inicials i aporta un valor real a diferents perfils d'usuaris, des d'estudiants fins a persones jubilades. Les propostes de millora identificades, com la incorporació de punts de referència addicionals, obren la porta a futures evolucions del sistema.

14. Avaluació de costos i viabilitat econòmica

L'anàlisi econòmica de SafeWay s'ha plantejat en dos nivells: d'una banda, l'escenari actual com a projecte acadèmic amb recursos limitats i sense inversió externa, i de l'altra, una projecció hipotètica de costos i models de viabilitat en cas que l'aplicació evolucionés cap a un producte comercial.

14.1 Costos de desenvolupament

En el marc acadèmic, els costos humans no tenen traducció econòmica directa: el desenvolupament i la supervisió docent es consideren part de la formació universitària.

Pel que fa als recursos materials, només cal comptar un dispositiu Android per a les proves que ja tenia i les despeses associades a connectivitat i serveis cloud bàsics que utilitzant versions gratuïtes han estat un total de 0€. Els recursos de programari tampoc no han generat despesa addicional, ja que Flutter, Android Studio i totes les dependències utilitzades són gratuïtes o de codi obert. Finalment, l'ús de les APIs de Google s'ha mantingut dins dels límits gratuïts proporcionats per la plataforma.

14.2 Costos operacionals en escenaris de creixement

Atès que SafeWay es troba encara en fase de prototipus acadèmic, els valors econòmics que es presenten en aquest apartat no corresponen a costos reals sinó a una **extrapolació prospectiva** basada en l'ús observat durant les proves i en la informació pública de tarifes de Google Maps Platform i serveis de *cloud computing*.

El càlcul parteix del consum mitjà detectat en el prototipus: cada càlcul de tres rutes genera entre **150 i 300 KB de trànsit de xarxa** i suposa una crida a la Directions API, a la Geocoding API i a la renderització de mapes via Maps SDK. Amb un ús mitjà estimat d'**1–2 rutes per usuari i dia**, un escenari de 1.000 usuaris actius equivaldria a unes 30.000–60.000 crides mensuals, dins encara de l'escala baixa de tarifació de Google (aprox. 0,005–0,01 €/crida). A mesura que la base d'usuaris augmenta, el cost es multiplica proporcionalment fins arribar a xifres més elevades en escenaris de 10.000 o 100.000 usuaris.

Pel que fa a la infraestructura, s'ha considerat un creixement progressiu: allotjament bàsic compartit en un escenari inicial, serveis més robustos de monitoratge i escalabilitat a partir de 10.000 usuaris, i finalment una arquitectura *cloud* distribuïda amb còpies de seguretat i balancejadors de càrrega en un escenari consolidat. La partida de personal només

es contempla en aquest últim cas, amb un petit equip de manteniment tècnic necessari per donar suport continu.

Aquests càlculs són **estimacions teòriques** i depenen de múltiples factors: polítiques de Google, descomptes per volum, optimitzacions en el consum d'API, estratègies de caché i compressió de dades, i sobretot de l'ús real que en facin els usuaris. Per això, els valors s'han de llegir com a ordres de magnitud orientatius que il·lustren la viabilitat potencial del projecte, i no com a pressupost definitiu.

Taula 6: Costos mensuals estimats segons escenaris de creixement d'usuaris de SafeWay.

Escenari	Base d'usuaris actius	Costos APIs Google	Infraestructura i serveis	Costos personal	Total mensual aproximat
Pilot acadèmic	<100	€0 (quota gratuïta)	€15 (bàsic)	€0	€15
Escenari inicial	1.000	€3–7/dia	€50/mes	€0	€150–200
Escenari creixement	10.000	€20–40/dia	€450/mes	€0	€1.000–1.500
Escenari consolidat	100.000	€150–300/dia	€2.000/mes	€8.000/mes	€15.000–20.000

14.3 Models de monetització potencial

En cas que SafeWay evolucionés cap a producte comercial, caldria definir estratègies de sostenibilitat econòmica. Entre les opcions més viables hi ha un **model freemium** amb ús bàsic gratuït i versió premium per uns 2,99 €/mes amb funcionalitats il·limitades; **subscripcions familiars** amb plans de 7,99 €/mes i prestacions addicionals com la navegació per veu o alertes avançades; i un **model B2B** basat en llicències corporatives o integració *white-label* per a empreses i institucions públiques.

Aquestes opcions no responen a una planificació tancada sinó que són **escenaris hipotètics** que permeten explorar la viabilitat econòmica futura i la diversificació de fonts d'ingressos.

14.4 Retorn d'inversió hipotètic

De la mateixa manera, els càlculs de retorn d'inversió només tenen valor prospectiu. En un escenari conservador, amb 50.000 usuaris al cap de tres anys i una conversió del 5% a plans premium, els ingressos anuals podrien situar-se al voltant dels 180.000 €, amb una inversió inicial estimada de 50.000 €, fet que implicaria un retorn acumulat positiu.

En un escenari més optimista, amb 200.000 usuaris i un 8% de conversió, els ingressos podrien superar els 700.000 € anuals, fent viable un creixement sostingut. Tot i això, aquests càlculs són **purament hipotètics i orientatius**, ja que parteixen de dades limitades d'un prototipus acadèmic i simplifiquen molts factors de mercat, tecnològics i legals que caldria considerar en una aplicació comercial real.

15. Legislació i protecció de dades

La protecció de dades personals és un aspecte central en qualsevol aplicació de seguretat urbana [12]. SafeWay s'ha concebut per complir plenament amb la normativa vigent, garantint que l'usuari té el control sobre la informació que comparteix i que el tractament de dades es realitza amb les màximes garanties de seguretat i privadesa.

15.1 Compliment del RGPD i la LOPDGDD

El **Reglament General de Protecció de Dades (UE 2016/679)** estableix els principis que guien el tractament de dades personals [13]. SafeWay aplica aquests principis en tot moment:

- **Licitud i consentiment:** abans de processar dades, com ara la geolocalització, l'aplicació sol·licita el consentiment explícit de l'usuari.
- **Limitació de finalitat:** les dades només s'utilitzen per a navegació segura i gestió d'emergències.
- **Minimització:** només es recullen dades estrictament necessàries (p. ex. ubicació en temps real per calcular rutes).
- **Conservació limitada:** les dades de localització no es guarden més enllà de la sessió activa; l'historial es guarda localment i pot ser esborrat per l'usuari.
- **Integritat i confidencialitat:** totes les comunicacions es realitzen amb xifratge HTTPS/TLS i les dades emmagatzemades al dispositiu es guarden en format encriptat.

A més, l'aplicació compleix amb la **Ley Orgánica 3/2018, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPDGDD)** [14], que desenvolupa i complementa el RGPD al marc espanyol. També s'han tingut en compte els requisits específics de les plataformes de distribució, com **Google Play**, en matèria de protecció de dades i transparència.

15.2 Drets dels usuaris

SafeWay facilita l'exercici dels drets reconeguts pel RGPD: informació clara mitjançant la política de privadesa, accés i descàrrega de dades pròpies, rectificació d'informació inexacta, supressió completa de comptes i dades associades, limitació de tractament i oposició a determinades funcionalitats. També es contempla la portabilitat mitjançant exportació en formats estàndard.

15.3 Mesures de seguretat tècniques i organitzatives

A nivell tècnic, s'apliquen protocols segurs per a la transmissió de dades, xifratge en repòs al dispositiu i mecanismes d'autenticació i autorització robustos. A nivell organitzatiu, el projecte inclou una política de privadesa documentada, procediments per a la gestió d'incidents, formació en protecció de dades i acords de confidencialitat amb tercers que puguin intervenir en el processament.

Aquestes mesures s'han establert seguint les millors pràctiques de seguretat i poden ser ampliades en cas d'una futura explotació comercial de l'aplicació.

15.4 Resum de conformitat legal

En resum, SafeWay compleix amb els estàndards legals i ètics aplicables al tractament de dades personals, garantint seguretat tècnica, transparència en el tractament i respecte als drets dels usuaris. Aquesta conformitat és un element essencial per establir confiança i legitimitat en una aplicació orientada a la seguretat urbana.

Taula 7: Resum de la conformitat legal i de protecció de dades de SafeWay.

Aspecte	Estat de compliment	Descripció
RGPD	✔ Complert	Aplicació dels principis de licitud, minimització, finalitat i seguretat
LOPDGDD	✔ Complert	Adaptació al marc normatiu espanyol
Consentiment	✔ Implementat	Autorització explícita per a geolocalització i historial
Drets de l'usuari	✔ Garantits	Accés, rectificació, supressió, portabilitat i oposició
Xifratge	✔ Actiu	HTTPS/TLS en trànsit i xifratge local en repòs
Auditoria i transparència	✔ Documentada	Política de privadesa i registre d'accions

16. Competència transversal CT7: Principis ètics i responsabilitat social

La competència CT7 —aplicar principis ètics i de responsabilitat social com a ciutadana i com a professional— ha estat present al llarg de tot el desenvolupament de SafeWay. El projecte s’ha concebut per generar valor social real sense sacrificar la privadesa ni el benestar dels usuaris. Això s’ha traduït en decisions de disseny orientades a la inclusió, la sostenibilitat i el respecte per les normes vigents.

16.1 Igualtat: anàlisi de desigualtats i discriminacions

L’anàlisi inicial del context va evidenciar que la percepció d’inseguretat no és homogènia. En determinats col·lectius —com dones joves o persones que transiten de nit— els condicionants d’ús de l’espai públic són diferents, i això pot derivar en canvis d’itinerari o renúncies a determinats desplaçaments. SafeWay respon a aquesta realitat oferint rutes alternatives i informació contextual sense etiquetar ni paternalitzar l’usuari. El model evita supòsits de gènere i es limita a quantificar exposició a riscos (llum, activitat, incidències, etc.) perquè cada persona decideixi en funció de les seves preferències. Igualment, la interfície emprava un llenguatge neutre i components accessibles que no reforcen estereotips ni dificulten l’ús per motius d’edat, idioma o habilitats.

16.2 Medi ambient: desenvolupament sostenible

Des del punt de vista ambiental, SafeWay promou la mobilitat activa en entorns urbans, afavorint desplaçaments a peu més segurs i reduint la dependència del vehicle privat. En l’àmbit tecnològic, s’han prioritzat algorismes eficients, càlcul sota demanda i memòria cau per minimitzar consum energètic, trànsit de xarxa i ús de recursos al dispositiu. La combinació d’aquestes mesures redueix la petjada digital de l’aplicació i reforça la coherència amb objectius de sostenibilitat.

16.3 Responsabilitat social: implicació comunitària

El projecte s’ha alineat amb necessitats socials detectades: informar sobre factors de risc, facilitar alternatives i, quan cal, permetre una interacció ràpida amb serveis d’emergència. Més enllà de l’ús individual, la visualització de “llocs segurs” (farmàcies 24 h, comissaries, hospitals o comerços oberts) reforça xarxes de suport local i pot contribuir a la cohesió comunitària. La reflexió sobre l’impacte social ha estat contínua, revisant que les funcionalitats no generin dependències injustificades ni transfereixin responsabilitat a la víctima.

16.4 Ètica: principis i pràctica

Les decisions tècniques s'han guiat per principis de privadesa, autonomia i justícia. El tractament de dades s'ha limitat a allò estrictament necessari per a la navegació, amb processament local sempre que ha estat possible, transparència en les opcions i control per part de l'usuari. El compliment normatiu (incloent RGPD) s'ha tractat com a requeriment no funcional central. Paral·lelament, s'ha mantingut una actitud crítica i dialogant amb docents i participants de proves, valorant l'impacte a llarg termini de cada decisió i evitant efectes no desitjats. En resum, SafeWay integra la CT7 no com un annex formal, sinó com un criteri transversal que ha modelat arquitectura, interfície i funcionalitats.

17. Conclusions i línies futures

17.1 Objectius assolits

SafeWay ha assolit els objectius plantejats: ofereix tres rutes diferenciades (ràpida, equilibrada i segura), integra un sistema d'emergència amb resposta immediata, manté una interfície clara i accessible i compleix els requisits de rendiment establerts (<3 s per càlcul de rutes) en una varietat de dispositius Android.

17.2 Contribucions i innovacions

La contribució principal de SafeWay és l'algoritme híbrid de generació de rutes, que combina trams de diferents opcions alternatives per construir una ruta equilibrada que manté un alt nivell d'eficiència temporal i, al mateix temps, redueix significativament l'exposició al risc. Aquest plantejament representa un avenç respecte als models convencionals de navegació, que tradicionalment prioritzen únicament el temps o la distància.

Una altra innovació clau és el sistema de puntuació multidimensional (*safetyScore*), capaç d'integrar factors geoespacionals (ubicació de punts de risc), temporals (franges horàries) i contextuals (condicions de l'entorn), assignant penalitzacions i ponderacions dinàmiques. Aquest enfocament flexible permet adaptar la planificació de rutes a entorns canvians i reflectir millor la percepció real de seguretat.

A més, el projecte ha consolidat una base arquitectònica modular que facilita l'escalabilitat i la futura integració de noves funcionalitats, com ara dades comunitàries o transport multimodal.

17.3 Limitacions identificades

Actualment, els punts de risc utilitzats en proves són simulats; per tant, l'efectivitat en entorns reals dependrà de la qualitat i cobertura de dades oficials o comunitàries. L'abast geogràfic és restringit i la dependència de Google APIs introdueix condicionants tècnics i econòmics. A nivell de funcionalitats, la navegació per veu queda com a pendent rellevant.

17.4 Línies futures de desenvolupament

Les prioritats passen per integrar fonts de dades reals i homologades, ampliar plataformes (iOS i web), incorporar funcionalitats comunitàries (contribució i validació de punts de risc, sistemes de reputació i alertes) i explorar integració amb transport públic per a rutes multimodals. També es preveu incorporar navegació per veu i millores d'accessibilitat avançades.

17.5 Impacte i projecció

Els resultats indiquen reduccions substancials de l'exposició al risc sense penalitzacions significatives en temps. A curt termini, això es tradueix en una millor percepció de seguretat i en decisions més informades per part dels usuaris. A mig termini, el model és escalable a noves ciutats i contextos; a llarg termini, pot contribuir a polítiques urbanes basades en evidències si s'articula correctament amb fonts de dades oficials.

17.6 Conclusions finals

SafeWay demostra la viabilitat d'una navegació centrada en la seguretat del vianant, combina rigor tècnic amb sensibilitat social, i introdueix innovacions que poden inspirar treballs posteriors. El projecte tanca amb una base sòlida per a ser ampliat i transferit a entorns reals.

18. Valoració personal

18.1 Aprenentatge tècnic adquirit

El projecte ha permès consolidar competències en Flutter/Dart, integració de serveis de Google, disseny d'algoritmes geoespacionals i arquitectura modular. La implementació d'un motor de rutes amb puntuació de seguretat ha facilitat el pas de conceptes teòrics a solucions operatives.

18.2 Desenvolupament de competències professionals

Més enllà de la tècnica, el projecte ha estat un exercici de gestió de temps i riscos, resolució de problemes i comunicació clara de decisions. El cicle d'iteracions amb feedback d'usuaris de prova i de tutoria ha reforçat habilitats de col·laboració i de documentació rigorosa.

18.3 Desafiaments superats

La heterogeneïtat de les APIs, la latència i les quotes d'ús van requerir estratègies de *fallback* i memòria cau. L'algoritmia de polilínies i la definició del `safetyScore` van exigir iteracions i proves exhaustives fins a trobar un equilibri entre precisió i rendiment. A la interfície, la clau va ser simplificar sense perdre expressivitat ni accessibilitat.

18.4 Satisfacció i realització personal

La motivació ha vingut tant del repte tècnic com de l'objectiu social: oferir una eina que, encara en fase acadèmica, apunta a impactes positius en la vida quotidiana de la gent. L'evolució del prototip, les primeres validacions i l'ordre final del conjunt han aportat una sensació de feina ben feta.

18.5 Reflexió sobre el creixement personal

El projecte ha reforçat la confiança per afrontar problemes oberts, la perseverança per sostenir iteracions llargues i la creativitat per trobar solucions factibles quan la teoria no és suficient. També ha consolidat una actitud de responsabilitat ètica en el tractament de dades i en el disseny de funcionalitats.

18.6 Impacte en la visió professional

SafeWay ha consolidat una visió de la tecnologia com a eina d'impacte social, on la qualitat tècnica i l'ètica són indistriables. A nivell d'itinerari professional, obre camins en *mobile*, *geotech*, *civic tech* i anàlisi de dades urbanes.

18.7 Conclusions de la valoració personal

L'experiència ha estat transformadora: ha combinat aprenentatge tècnic profund, creixement personal i un sentit de propòsit. El projecte deixa una base sòlida per continuar evolucionant cap a una aplicació usable en entorns reals i, sobretot, una manera de fer centrada en la utilitat, la responsabilitat i l'excel·lència.

19. Recursos utilitzats (programari i hardware)

El desenvolupament de **SafeWay** ha requerit un conjunt específic de recursos tant de programari com de maquinari, seleccionats per garantir compatibilitat, estabilitat i un entorn de proves representatiu de diversos escenaris d'ús.

19.1 Programari

L'aplicació s'ha implementat amb el framework **Flutter** (versió 3.x.x) i el llenguatge **Dart** (versió 3.x), que permeten el desenvolupament multiplataforma amb un únic codi base i ofereixen un rendiment natiu en dispositius Android. L'entorn principal de desenvolupament ha estat **Android Studio** (versions Giraffe/Koala, $\geq 2023.x$), amb l'**Android SDK** configurat fins a l'API 34 i compatibilitat mínima garantida amb dispositius que executen l'API 29.

Pel que fa a les dependències, s'han integrat paquets específics de Flutter necessaris per a les funcionalitats clau de SafeWay. Entre ells destaquen `google_maps_flutter`, per a la renderització del mapa i la interacció amb Google Maps; `geolocator` i `geocoding`, per a la gestió de posició i traducció d'adreces; `provider`, per al maneig d'estat reactiu; `http` i `google_polyline_algorithm`, per a la comunicació amb APIs externes i el processament de polilínies; així com llibreries de suport com `flutter_lints` (estàndards de qualitat de codi) i `intl` (internacionalització i formats).

Per al control de versions, s'ha utilitzat **Git**, organitzat mitjançant commit tags que han permès marcar les fites més rellevants del projecte i mantenir una traçabilitat clara de l'evolució del codi. Addicionalment, s'han emprat eines de suport com l'**AVD Manager** i **adb** per a la gestió d'emuladors i connexions amb dispositius físics, així com les ordres `flutter test` i `flutter analyze` per a la validació contínua del codi i la detecció d'errors.

19.2 Hardware

Per tal de validar l'aplicació en condicions reals, s'ha provat SafeWay en diferents emuladors i en un dispositiu físic Android. Concretament, s'ha fet servir un Samsung Galaxy A52 per validar el funcionament òptim en un terminal de gamma mitja i en la versió més recent del sistema operatiu.

A més dels dispositius físics, s'han utilitzat **emuladors oficials d'Android Studio** configurats amb diferents perfils (Pixel 4 i Pixel 6) que abasten des de l'API 29 fins a l'API 34. Aquesta combinació ha garantit la cobertura d'escenaris variats en termes de versions,

resolucions i rendiment, permetent verificar que l'aplicació manté un comportament estable i coherent en tot l'ecosistema Android.

Bibliografia

- [1] F. Community, s. f.. [En línia]. Available: https://pub.dev/packages/shared_preferences.
- [2] Google, s. f.. [En línia]. Available: <https://cloud.google.com/maps-platform/terms>.
- [3] G. M. F. Team, s. f.. [En línia]. Available: https://pub.dev/packages/google_maps_flutter.
- [4] T. F. Team, s. f.. [En línia]. Available: <https://docs.flutter.dev>.
- [5] T. D. Team, s. f. . [En línia]. Available: <https://dart.dev>.
- [6] Baseflow, «geolocator package documentation,» s. f.. [En línia]. Available: <https://pub.dev/packages/geolocator>.
- [7] Google, s. f.. [En línia]. Available: https://pub.dev/packages/google_polyline_algorithm.
- [8] F. Community, s. f.. [En línia]. Available: <https://pub.dev/packages/provider>.
- [9] D. & P. T. Douglas, «Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature,» *The Canadian Cartographer*, vol. 10(2), p. 112–122, 1973.
- [10] I. O. f. Standardization, «ISO 9241-210:2010. Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems,» 2010.
- [11] J. Nielsen, Usability engineering, Academic Press, 1993.
- [12] Agencia Española de Protección de Datos (AEPD), s. f.. [En línia]. Available: <https://www.aepd.es>.
- [13] Unió Europea, «Reglament (UE) 2016/679 del Parlament Europeu i del Consell, de 27 d'abril de 2016, relatiu a la protecció de les persones físiques pel que fa al tractament de dades personals i a la lliure circulació d'aquestes dades (RGPD).,» Diari Oficial de la Unió Europea, Brussel·les, 2016.
- [14] España, «Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPDGDD),» Boletín Oficial del Estado, nº 294, 119788–119857, 2018.

Annexes

Els annexos inclouen materials addicionals que complementen la memòria del projecte.

Annex A. Codi Python (Matplotlib) per a la generació del gràfic de comparativa entre les tres rutes generades per SafeWay (ràpida, equilibrada i segura).

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Dades

rutes = ["Ruta ràpida", "Ruta equilibrada", "Ruta segura"]

risc = [100, 65, 35]          # Exposició al risc (%)

temps_relatiu = [100, 110, 120] # Temps relatiu (%)

# Crear la figura i eixos

fig, ax1 = plt.subplots(figsize=(8,6))

# Barres (risc)

bars = ax1.bar(rutes, risc, color="salmon", label="Exposició al risc (%)")

ax1.set_ylabel("Exposició al risc (%)", color="salmon")

ax1.set_ylim(0, 120)

# Afegir etiquetes a sobre de les barres

for bar, val in zip(bars, risc):

    ax1.text(bar.get_x() + bar.get_width()/2, bar.get_height() + 2,
             f"{val}%",

             ha="center", va="bottom", fontsize=10)

# Crear segon eix per al temps

ax2 = ax1.twinx()

ax2.plot(rutes, temps_relatiu, color="blue", marker="o", linewidth=2,
         label="Temps relatiu (%)")
```

```
ax2.set_ylabel("Temps relatiu (%)", color="blue")

ax2.set_ylim(90, 130)

# Afegir etiquetes als punts de la línia
for x, y in zip(rutes, temps_relatiu):
    ax2.text(x, y+1, f"{y}%", ha="center", va="bottom", fontsize=10,
            color="blue")

# Títol i llegenda

plt.title("Comparativa entre rutes: risc i temps relatiu")

fig.tight_layout()

plt.show()
```

Annex B. Posada en marxa (instal·lació i execució)

Prerequisites

- Flutter 3.x, Dart 3.x, Android SDK (API 29–34), Java 17
- Clau de Google Maps (Maps SDK for Android + Directions + Geocoding)

Configuració de claus

1. A Google Cloud, crea una API Key amb restriccions per Android (SHA-1) i quotes.

2. A `android/app/src/main/AndroidManifest.xml`, afegeix:

```
<meta-data android:name="com.google.android.geo.API_KEY"
  android:value="@string/google_maps_key"/>
```

3. A `android/app/src/main/res/values/google_maps_api.xml`:

4. `<string name="google_maps_key">LA_Teva_API_KEY</string>`

Instal·lació i execució

```
flutter clean
```

```
flutter pub get
```

```
flutter run # dispositiu connectat o emulador
```

Build

```
flutter build apk --release
```

```
# o
```

```
flutter build appbundle --release
```

Tests i qualitat

```
flutter test
```

```
flutter analyze
```

```
dart format --output=none --set-exit-if-changed .
```

Notes de seguretat

- No versionar la clau d'API en reposis públics.
- Limita dominis, paquets i SHA-1 al Google Cloud.
- Mantén el *keystore* de signing en lloc segur.