



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

FACULTAT D'INFORMÀTICA DE BARCELONA (FIB)
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA (UPC) – BarcelonaTech

Simulador de situacions de risc en carretera

Lliurable 6: Document final

Autor: Emilio Guerrero Camino

Directora: Marta Fairén (Departament de llenguatges i
sistemes informàtics)

Especialitat: Computació

Data de defensa: 30/6/2016

Índex de contingut

1 Formulació del problema.....	2
• 1.1 Introducció.....	2
• 1.2 Objectius del projecte.....	2
• 1.3 Actors implicats.....	3
• 1.4 Estat de l'art.....	3
1.4.1 Física del vehicle.....	3
1.4.2 Estat del conductor.....	4
1.4.3 Entorn.....	5
• 1.5 Treball aprofitable.....	5
2 Abast del projecte.....	6
• 2.1 Continguts.....	6
• 2.2 Reptes.....	7
• 2.3 Metodologia i rigor.....	7
2.3.1 Desenvolupament en cascada.....	7
2.3.2 Desenvolupament iteratiu i incremental.....	8
2.3.3 Mètode escollit.....	8
3 Planificació temporal.....	8
• 3.1 Seqüència lògica i duració de les tasques.....	8
• 3.2 Diagrama de Gantt.....	9
4 Gestió econòmica.....	11
• 4.1 Costos directes per activitat.....	11
• 4.2 Costos indirectes.....	12
• 4.3 Contingències.....	12
• 4.4 Imprevistos.....	13
• 4.5 Cost total del projecte.....	13
• 4.6 Control de gestió.....	14
5 Sostenibilitat i compromís social.....	15
• 5.1 Comentaris inicials i matriu de sostenibilitat.....	15
• 5.2 Estudi d'impacte Ambiental.....	16
• 5.3 Estudi d'impacte Econòmic.....	16
• 5.4 Estudi d'impacte Social.....	16
6 Desenvolupament del projecte.....	17
• 6.1 Posada a punt de l'entorn (4 dies).....	17
• 6.2 Investigació de la física dels vehicles (6 dies).....	17
6.2.1 Les forces.....	17
6.2.2 Força de tracció.....	17
6.2.3 Forces de resistència.....	19
6.2.4 Paràmetres derivats.....	20
6.2.5 Frenada.....	21
6.2.6 Velocitat angular a les corbes a baixa velocitat.....	21
6.2.7 Fricció amb el terreny i velocitat màxima de gir.....	23

• 6.3 Implementació de la física dels vehicles (15 dies).....	25
6.3.1 Estructura del temps.....	25
6.3.2 Moviment longitudinal.....	25
6.3.3 Representació del terreny.....	27
6.3.4 Interactuació amb el terreny i corbes.....	27
6.3.5 Visualització de l'entorn 3D.....	27
6.3.6 Canvi de marxes i punts de limitació de velocitat.....	28
• 6.4 Investigació dels paràmetres externs de la simulació (3 dies).....	28
6.4.1 Terra mullat.....	28
6.4.2 Temps de reacció.....	29
6.4.3 Boira.....	30
6.4.4 Obstacles mòbils.....	31
6.4.5 Distància de seguretat.....	31
• 6.5 Implementació dels paràmetres externs de la simulació (10 dies).....	31
6.5.1 Terra mullat.....	31
6.5.2 Temps de reacció.....	31
6.5.3 Boira.....	32
6.5.4 Obstacles mòbils.....	32
6.5.5 Distància de seguretat.....	32
6.5.6 Capsa contenidora de l'escena.....	33
6.5.7 Càrrega de models.....	33
• 6.6 Desenvolupament de la interfície gràfica (15 dies).....	33
• 6.7 Implementació del sistema de guardat i carregat de dades.....	44
7 Conclusions.....	45
8 Bibliografia / Webgrafia.....	46

Índex de figures

Dibuix 1: Diagrama de Gantt paral·lelitzat.....	10
Dibuix 2: Diagrama de Gantt seqüencial.....	10
Dibuix 3: Radi de la circumferència en una corba a baixa velocitat.....	22
Dibuix 4: Gràfic de temps de reacció.....	29
Dibuix 5: Interfície gràfica.....	34
Dibuix 6: Finestra de visualització.....	35
Dibuix 7: Finestra de reproducció.....	36
Dibuix 8: Finestra d'edició: Carreteres.....	37
Dibuix 9: Finestra d'edició: Vehicles, 1.....	38
Dibuix 10: Finestra d'edició: Vehicles, Estat inicial.....	39
Dibuix 11: Finestra d'edició: Vehicles, Dades bàsiques.....	40
Dibuix 12: Finestra d'edició: Vehicles, Dades complexes.....	41
Dibuix 13: Finestra d'edició: Obstacles.....	43

1 Formulació del problema

1.1 Introducció

El transport ha estat, és i serà un dels àmbits de major importància per a la humanitat, sobretot al present globalitzat en que ens trobem. Tant per transportar persones com mercaderies, el transport ha de ser eficaç i segur. Un dels punts de tot el procés, el qual tractarem al projecte, és la part terrestre.

La quantitat de carreteres que es construeixen és enorme i va en creixent per tal de poder connectar el màxim nombre de punts a un mateix territori, doncs el transport terrestre és increïblement efectiu i segur quan tenim la via terrestre disponible, per tant exclourem viatges aeris i marítims. A més, a la gran majoria de casos no és efectiu utilitzar transports tals com el tren, doncs necessita vies per poder moure's, i quan necessitem un nivell de detall molt més gran, com per exemple el poder transportar mercaderies i persones a qualsevol domicili o punt perdut com una muntanya, a on és impossible i ineficient imaginar fer vies de tren, és clara la necessitat del transport terrestre amb vehicles a rodes i la necessitat de fer carreteres, per tal de poder comunicar tots els punts possibles.

En aquest projecte tindrem un enfocament bastant gran en els vehicles controlats manualment per éssers humans, però serà totalment compatible amb el possible futur en que els vehicles estiguin automatitzats. Sigui quin sigui el cas, la mecànica dels vehicles no canviarà bruscament (i els canvis que hi hagi es podran resoldre amb actualitzacions del programa) i de cara al futur llunyà, i possiblement per sempre, encara utilitzarem el transport terrestre, per tant tindrem la mateixa necessitat: la correcta construcció i un bon manteniment de les carreteres, per tal de minimitzar els riscos i maximitzar l'eficiència.

1.2 Objectius del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és crear un programa de simulació de situacions de risc a les carreteres. Aquest tindrà en compte dos factors. En primer lloc els participants actius, és a dir, els vehicles (amb o sense conductors) i, en segon lloc, l'escenari, que no només inclou les carreteres sinó també els fenòmens atmosfèrics, els possibles obstacles que puguin sorgir i la col·locació de senyals bàsiques.

L'usuari podrà introduir totes aquestes dades i realitzar una simulació per veure els possibles resultats i poder identificar problemes que podrien portar a accidents, com per exemple corbes massa tancades, conductor begut o massa velocitat del vehicle. El resultat de la simulació es mostrarà gràficament, no amb massa detall però el suficient per poder identificar el resultat.

1.3 Actors implicats

El producte va dirigit a dos grans grups, els quals seran els que facin ús d'aquest. El primer grup que es beneficiarà és aquell que és encarregat de construir, mantenir i validar les carreteres. Sens dubte és una tasca molt difícil, i la seva correcte execució serà la que eviti els possibles accidents. Aquesta part inclou molts més detalls, com la col·locació de les senyals de trànsit bàsiques per controlar la velocitat del vehicle en certs punts i avisar de possibles animals que puguin creuar, o tenir en compte el clima de la zona, doncs un lloc amb boira és molt perillós. El programa servirà a l'hora de dissenyar i construir noves carreteres, doncs podràs fer simulacions i veure si el disseny és correcte o, per exemple, has fet una corba massa tancada. A més servirà pel bon manteniment de les carreteres. El programa es podrà utilitzar per comprovar que carreteres ja construïdes són realment vàlides i quins problemes podrien tenir, a més de poder avaluar l'entorn: per exemple, si hi ha animals salvatges prop de la carretera, al programa podrem fer la simulació i veure quin nivell de perill suposa i a on posar un senyal d'avís.

El segon grup que es beneficiarà és aquell encarregat de dissenyar i fabricar vehicles. Fer proves a la realitat és molt costós. El programa permetrà fer simulacions bastant acurades i poder comprovar els paràmetres del vehicle que s'està fabricant, per veure quins errors pot tenir i si va per bon camí.

1.4 Estat de l'art

1.4.1 Física del vehicle

El primer pas que hem de fer de cara al coneixement necessari per a aquest projecte és la física bàsica que haurem de simular. En primer lloc tenim tres paràmetres bàsics: l'acceleració màxima, que normalment es calcula de 0 a 100 km/h, la velocitat màxima en pla, en km/h, i la màxima pendent que el vehicle pot superar, en %.

Per obtenir i treballar amb aquests paràmetres haurem de conèixer les forces que actuen longitudinalment al vehicle, sense considerar verticals i laterals. Tenim tres resistències al moviment: resistència aerodinàmica, al rodament i gravitatòria. A partir d'aquestes dades haurem de calcular la potència necessària perquè el vehicle pugui superar aquestes tres resistències sumades per ser capaç de, com a mínim, mantenir una velocitat constant.

Per finalitzar haurem de treballar amb el gir dels vehicles, tenint en compte el gir de les rodes, i també de la capacitat de frenada. En resum, aquesta física i més serà la que treballarem per obtenir resultats molt acurats i poder fer simulacions correctes. Només treballarem la física del vehicle en quant al moviment en l'entorn. La frontera serà aquesta; no ens ficarem amb el dany al vehicle en detall, tals com els bonys a la carcassa o la destrucció d'aquesta, ni tampoc treballarem extensament com es mouran els vehicles després de xocar. Només ho treballarem a un nivell simple, com donar el nivell de gravetat de l'accident.

1.4.2 Estat del conductor

El segon pas tracta l'estat del conductor. Aquest pas, tot-hi que serà molt treballat, doncs és el present i segurament gran part del futur, tindrà l'opció de desactivar-se i tractar el vehicle com autònom, sense conductor humà, de cara al possible futur on la tecnologia dels vehicles autònoms sigui totalment funcional i s'hagi estès. En aquest cas simplement usaria el mateix sistema, sense canviar res, però fent com si tingués un conductor robot perfecte i precís amb, per exemple, temps de reacció propers del zero, simulant que el vehicle és autònom i no té error humà.

Hi ha molts paràmetres humans que són de vital importància de cara a la simulació. En primer lloc tenim la reacció humana als esdeveniments. Quan un obstacle apareix davant del conductor primer aquest l'ha de percebre, ja sigui visualment o auditivament. Una vegada identificat l'obstacle, el conductor ha de prendre la decisió d'actuar, i actuar, com per exemple frenar. Tot aquest temps és el temps de reacció, moment fins que l'humà actua, i tota la distància que el vehicle recorre en aquest temps és la distància de reacció. I després tenim la distància de frenat, la qual recorre el vehicle en el temps que aquest rep l'acció de frenar i arriba a parar-se completament.

Molts paràmetres afecten als temps anteriors, com si el conductor va sota els efectes de l'alcohol o les drogues, si té son o fatiga, el seu estat d'ànim... treballarem totes aquestes variables.

1.4.3 Entorn

L'entorn influeix tant en la física del vehicle com en el control que té l'usuari de la situació. A continuació enumerem varis exemples:

- Si el terra és mullat costarà més frenar i maniobrar.
- Si el terra és pla serà un cas senzill, però ens podem trobar amb pujades que facin més difícil avançar, i baixades que ens poden fer perdre el control del vehicle.
- Si hi apareixen obstacles com persones o animals creuant i no hi havia cap senyal d'avís (o el conductor no estava atent) aquest haurà de fer una frenada forta per no xocar.
- Si hi ha boira la capacitat de reacció humana és reduïda, doncs triga més a veure els obstacles, o fins i tot pot no veure'ls.

1.5 Treball aprofitable

Com a punt de partida estudiaré i aprofitaré codi que he trobat sobre una simulació de la física d'un vehicle. Sembla tenir una molt bona base a partir de la qual jo puc anar afegint els paràmetres que necessitarà el meu projecte.

També, tot i que pot sonar obvi, partiré de tot el coneixement de física que necessiti pel projecte que tenim fins el moment. A partir d'aquest coneixement agafaré les fórmules físiques i les passaré a una forma computable per poder fer els càlculs. Això, sumat al coneixement de com funciona el tema que tractem em permetrà fer la simulació d'acord a com actuaria a la realitat.

2 Abast del projecte

2.1 Continguts

El primer pas és desenvolupar un entorn funcional senzill, on puguem interactuar amb un vehicle amb controls molt limitats i mostrar els resultats amb la llibreria gràfica. La meta és veure que tenim l'entorn i que podem començar a desenvolupar amb més detall. Una vegada el tenim es continuarà desenvolupant la part gràfica, però enfocarem amb molt més detall la part de la física. Ara que podem mostrar els resultats serem capaços de treballar la física dels vehicles amb molt més detall i veure gràficament els resultats. Aquesta part serà on es faci el major esforç de la investigació, per poder fer simulacions acurades de la física dels vehicles. En aquesta part no tindrem en compte cap factor extern, del conductor o d'altres vehicles.

El segon pas, una vegada tinguem l'entorn funcional amb la física dels vehicles molt avançada, serà començar amb la interfície gràfica. Serà una part important del projecte i l'hem de delimitar molt bé. El programa tindrà una interfície intuïtiva y no massa complexa de tipus interactiva. L'usuari tindrà la possibilitat de definir una situació. Tindrà moltes eines per posar carreteres (escollint la forma i pendent), posició i paràmetres dels vehicles (incloent paràmetres inicials, com la velocitat), posició de senyals de trànsit bàsiques i semàfors, obstacles com animals o persones creuant... l'usuari podrà definir el context de la situació de forma senzilla i guardar-lo per futures consultes i modificacions, tot mitjançant la interfície gràfica.

Una vegada l'usuari hagi definit un context, o n'hagi carregat un de creat anteriorment, podrà executar la simulació, la qual pot trigar una mica, i una vegada executada es mostrarà en temps real, amb gràfics molt senzills però explicatius, per veure tot allò que ha passat, incloent els accidents. A més mostrarà possibles indicacions molt senzilles sobre quina podria ser la causa de l'accident, com per exemple excés de velocitat, però no ens ficarem amb massa detall en aquesta part, només de passada.

El tercer pas, un cop hàgim desenvolupat la interfície gràfica, serà aplicar els paràmetres externs a la pròpia simulació. Això inclourà la presència d'un conductor, d'altres vehicles i de factors de l'escenari. Tots aquests paràmetres els haurem tractat a la interfície gràfica i seran seleccionables, i ara els afegirem a la pròpia simulació.

El quart pas serà unir les dues grans parts. Per una banda tota la part de simulació, i per una altra la interfície gràfica. L'objectiu d'aquesta part serà arribar a un prototipus del projecte final, on l'usuari podrà definir un entorn mitjançant la interfície gràfica, i fer la simulació. En aquesta part tractarem el tema de memòria, que inclou guardar en fitxers les escenes creades, així com calcular la simulació per després mostrar-la en temps real.

2.2 Reptes

En primer lloc els meus coneixements d'aplicacions gràfiques és bastant limitat. Em puc moure bastant bé pels temes de matrius de transformacions gràfiques i dibuix (tenint en compte que hem fet varies assignatures de gràfics, i tot allò que he fet pel meu compte) però arrancar i tenir l'entorn funcional serà igualment un repte. En aquest sentit estic una mica tranquil doncs la meva directora és especialista en el tema de gràfics.

En segon lloc els meus coneixements de física tampoc són massa grans. No he investigat massa pel meu compte, però la física ha estat un tema que m'ha agradat des de sempre, per tant estic segur que me'n sortiré investigant molt, però tinc clar que serà un repte important a tenir en compte.

En tercer lloc, crec que un gran repte serà el poder comprovar que la simulació és correcta, és a dir, que estic aplicant bé les fórmules i no tinc errors de conceptes al codi.

2.3 Metodologia i rigor

Escollir un bon mètode de treball és un punt clau i crític que pot estalviar molts maldecaps i temps, per tant s'ha de pensar amb detall. Després d'investigar tenim dos mètodes principals per avaluar abans d'escollir: el mètode de desenvolupament en cascada, i el mètode iteratiu i incremental.

2.3.1 Desenvolupament en cascada

El mètode de desenvolupament en cascada [1] es caracteritza en ordenar rigorosament les diferents fases de desenvolupament del projecte. L'inici de cada fase ha d'esperar la finalització de la fase anterior. Cada vegada que es finalitza una fase s'avalua en detall per veure si el projecte està preparat per avançar cap a la següent.

2.3.2 Desenvolupament iteratiu i incremental

El mètode de desenvolupament iteratiu i incremental [3], en aquest cas des del punt de vista del concepte de “desenvolupament àgil de software” [2], es caracteritza en que els requisits i les solucions evolucionen amb el temps segons les necessitats del projecte. La clau consisteix en la presa de decisions a curt termini. L'objectiu de cada iteració no és afegir molta funcionalitat per arribar al producte final, sinó incrementar el valor per mitjà del “software que funciona” en tot moment.

2.3.3 Mètode escollit

Com ja hem dit abans, el temps disponible per fer el projecte és bastant escàs i, tot i que, en el cas d'un projecte real, imaginem que hi hauria més persones treballant, en aquest TFG l'hauré de fer pràcticament jo sol, per tant la millor opció és escollir un mètode amb el qual pugui assegurar que compleixo els terminis de temps auto establerts, és a dir, que el projecte va sempre avançant i sense errors. Escollirem, doncs, el mètode de desenvolupament iteratiu i incremental per tal de poder-ho aconseguir.

3 Planificació temporal

3.1 Seqüència lògica i duració de les tasques

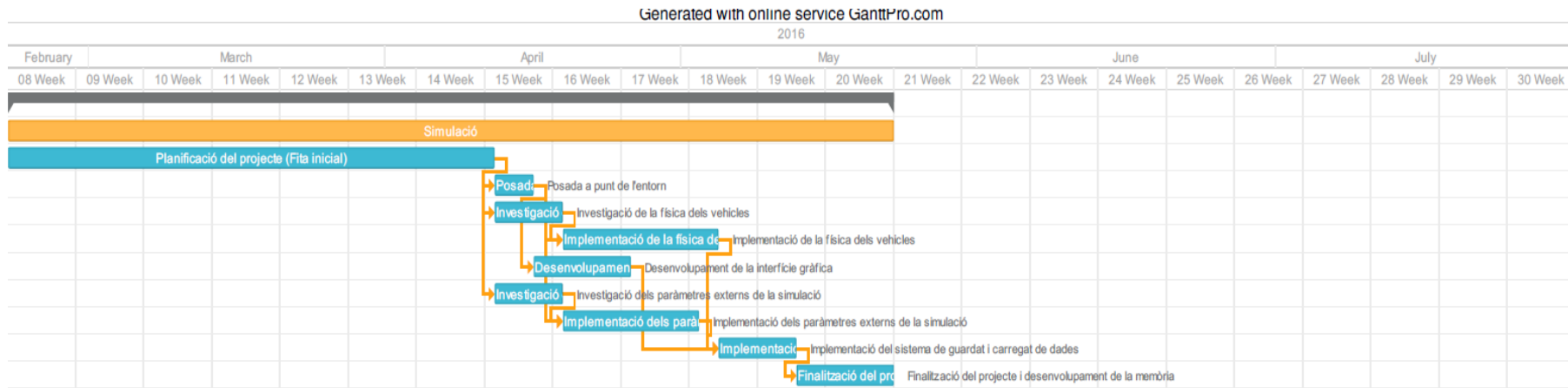
El projecte va començar el dia 22 de Febrer amb GEP. La presentació oral d'aquest va ser el 12 d'Abril (en el meu cas), per tant la fita inicial es va realitzar amb aquesta duració. Agafaré el torn de Juny. El 27 de Maig és la data límit per la reunió de seguiment, i la lectura final està compresa entre el 27 de Juny i el 1 de Juliol. Amb aquestes dades podem definir els temps. Prendré que el projecte inicia el 22 de Febrer i acaba el 27 de Juny, independentment de quin dia tingui la lectura final, doncs la diferència és mínima. La duració total del projecte és, doncs, de $7+31+30+31+27 = 126$ dies. El curs GEP va durar exactament $7+31+12 = 50$ dies.

El projecte estarà format per vàries tasques ben definides. Hem de tenir en compte que vam escollir un desenvolupament iteratiu i incremental. Tot-hi que definim ara les tasques, aquestes no estan escrites en pedra: la clau està en la presa de decisions a curt termini, on al llarg del temps es planteja què necessitem i com ho aconseguirem. Per tant aquestes tasques es seguiran com a guia, però sense cap problema podrem anar fent salts, desenvolupar potser alguna part d'alguna tasca futura i, sens cap dubte, tornar les vegades que facin falta a una tasca anterior per resoldre errors, fer canvis, etc, tot d'acord amb les necessitats que tinguem i per assegurar que el projecte avança amb un constant estat de “codi sense errors”. Per exemple tenim la tasca d'investigació de la física dels vehicles, que és una etapa molt propera, però que no farem al complet: farem una investigació inicial i programarem la física inicial, la suficient per tenir una versió estable i continuar, i al llarg del projecte anirem tornant a aquesta tasca per anar expandint el coneixement i les característiques de la simulació. Crec que aquesta forma és més àgil i facilitarà el projecte.

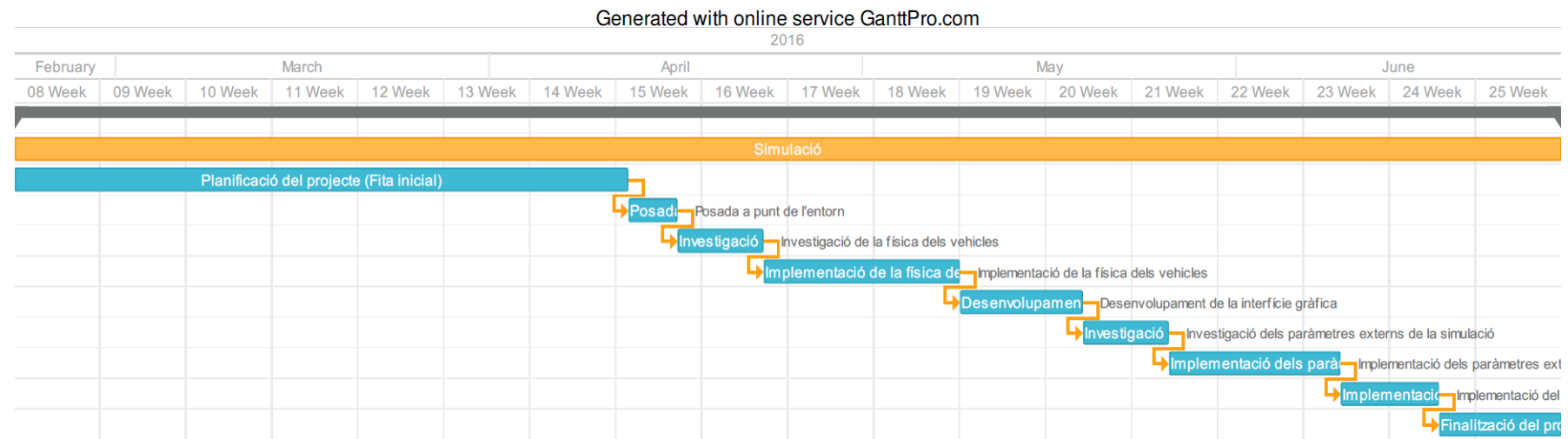
Tasca	Duració
Planificació del projecte (fita inicial)	50 dies
Posada a punt de l'entorn	4 dies
Investigació de la física dels vehicles	7 dies
Implementació de la física dels vehicles	16 dies
Desenvolupament de la interfície gràfica	10 dies
Investigació dels paràmetres externs de la simulació	7 dies
Implementació dels paràmetres externs de la simulació	14 dies
Implementació del sistema de guardat i carregat	8 dies
Finalització del projecte i desenvolupament de la Memòria	10 dies
Total	126 dies

3.2 Diagrama de Gantt

El primer és l'original i paral·lelitzat, mentre que el segon és el real que jo faré al ser un projecte individual. Algunes tasques es podrien paral·lelitzar, per tant no tenen un ordre estrictament lineal, i això es veurà al gràfic, però a la pràctica es farà linealment en l'ordre inicial ja que només jo faré el projecte. Al final de la Memòria, al desenvolupament de les tasques, podem comprovar com s'ha seguit bastant fidelment la planificació.



Dibuix 1: Diagrama de Gantt paral·lelitzat



Dibuix 2: Diagrama de Gantt seqüencial

4 Gestió econòmica

4.1 Costos directes per activitat

Calcularem els costos directes a nivell de les tasques de Gantt segons els recursos humans que necessitem per a cada tasca [4]. Per fer-ho necessitarem planificar quins rols [5] hi ha al projecte i quins hi fan falta a cada tasca. Per tal de calcular els preus [6][7][8][9] diaris a partir dels preus per hora prenem que es treballa una mitjana de 8 hores diàries (tenint en compte que alguns dies es treballa més i que d'altres es treballa menys o hi ha festa), però només 5 de 7 dies a la setmana, per tant $8 \cdot (5/7) = 5.7$ hores diàries.

Rol	Preu per hora	Preu per dia
(C) Cap de projecte	60 €/h	342 €/dia
(A) Analista	35 €/h	200 €/dia
(D) Dissenyador	40 €/h	228 €/dia
(I) Investigador	35 €/h	200 €/dia
(P) Programador	35 €/h	200 €/dia
(T) Tester	24 €/h	136 €/dia

Ara que tenim els rols implicats al projecte podem calcular el cost total de recursos humans, segons les tasques del diagrama de Gantt.

Tasca	Dies	Recurs	Cost total
Planificació del projecte (fita inicial)	50	C	17100.00 €
Posada a punt de l'entorn	4	P	800.00 €
Investigació de la física dels vehicles	7	C, I	3794.00 €
Implementació de la física dels vehicles	16	C, A, D, P, T	17696.00 €
Desenvolupament de la interfície gràfica	10	C, A, D, P, T	11060.00 €
Investigació dels paràmetres externs de la simulació	7	C, I	3794.00 €
Implementació dels paràmetres externs de la simulació	14	C, A, D, P, T	15484.00 €
Implementació del sistema de guardat i carregat de dades	8	C, A, D, P, T	8848.00 €
Finalització del projecte i desenvolupament de la Memòria	10	C, P, T	6780.00 €
Costos directes per activitat	-	-	85356.00 €

4.2 Costos indirectes

Per calcular el cost del PC haurem de calcular la seva amortització. Comprariem 3 PCS que es repartirien entre els membres. El primer PC l'utilitza el cap de projecte, l'investigador i el tester, el segon l'utilitza l'analista i el dissenyador, i el tercer és exclusiu pel programador.

El cost de cada PC és de 500€ i amb 4 anys de vida útil. Prenem 250 dies laborables al 2016 per fer el càlcul, descomptant dies de festa i vacances. La duració del projecte és de 126 dies * 5.7 hores de mitjana = 718 hores. Els comprem nous, per tant s'han d'amortitzar. La fórmula, doncs, $(500 / (4 * 250 * 8)) * 718 = 44.88$ €.

Per calcular el cost de la llum hem de sumar el cost en kWh de mantenir el PC i la il·luminació. Prenem que el cost del PC [14][15] és de 0.22 kWh i cada dia el tindrem encès una mitjana de 5.7 h, cost diari de $0.22 \text{ kWh} * 5.7 \text{ h} = 1.25 \text{ kWh}$. El cost total de mantenir el PC és de $1.25 * 126 \text{ dies} = 157.5 \text{ kWh}$. De cara a la llum prenem un cost de 3250 kWh, i té en compte totes les necessitats del lloc de treball. El cost total en € és de $157.5 + 3250 = 3425.5 \text{ kWh} * 0.09 \text{ €/kWh} = 308.3$ €.

Recurs i quantitat	Cost per unitat	Cost final
PC amb Windows 10 (3 unitats)	44.88 (Amortitzat)	€ 134.63 €
Lloguer (cada dia hàbil) [12]	100 €/mes	420.00 €
Llum (cada dia hàbil, cost PC+il·luminació) [10]	0.09 €/kWh	308.3 €
Internet y telèfon (cada dia hàbil) [11]	0.83 €/dia	105.00 €
Paper (1 pack, 500 fulls) [13]	6 €/pack	6.00 €
Costos indirectes	-	973.93 €

4.3 Contingències

Amb la contingència podem atenuar errors deguts a informació incompleta i descuits. El valor que utilitzarem serà un 12%, així evitem possibles maldecaps, però a la vegada no és massa gran, doncs hem fet el pressupost amb cert detall. Aplicarem aquest percentatge als costos directes per activitat i als costos indirectes per augmentar el cost total.

4.4 Imprevistos

Haurem de tenir en compte varies activitats que haurem de realitzar en cas d'imprevistos per tal de poder-los solucionar. Com que son imprevistos poden o no aparèixer, per tant no tindrem en compte el seu cost total, sinó un percentatge del cost, d'acord amb la probabilitat d'aparèixer.

Qualsevol PC pot tenir un avaria [16]. Assumirem que reparar un PC té un cost de 200€, una mica inflat, per assegurar-nos de que podrem reparar qualsevol avaria greu. Tenim 3 PCS, i assumirem que la probabilitat que un PC tingui una avaria és del 8%, doncs són nous. Cost total = $3 * (200 * 0.08) = 48.00$ €.

La probabilitat que tinguem un imprevist en quant al temps i alguna tasca del projecte s'allargui no és baix, i pot suposar que el projecte sencer s'allargui. Per resoldre-ho contractarem de forma ràpida i per només uns dies a algú per substituir o ajudar el membre que tingui problemes. Malauradament no podem saber quin membre tindrà el problema, per tant farem una mitjana de tots els sous. El resultat és 217.80 €/dia. Estimem que el contractarem 10 dies per resoldre el problema, el cost és 2178.00 €. Estimem una probabilitat de que succeeixi del 17%, per tant el cost de l'imprevist serà de $2178 * 0.17 = 370.26$ €.

Imprevist	Cost final
Avaria del PC	48.00 €
Problema de personal/capacitat per complir una tasca	370.26 €
Costos per imprevistos	418.26 €

4.5 Cost total del projecte

Cost	Valor
Costos directes per activitat	85356.00 €
Costos indirectes	973.93 €
Costos per contingències	12% dels directes i indirectes
Costos per imprevistos	418.26 €
Cost total del projecte	97107.78 €

4.6 Control de gestió

Podem tenir qualsevol problema a qualsevol fase de desenvolupament i trigar més del temps que hem pensat en poder trobar la solució al problema. Per controlar-ho durem un registre dels dies reals de durada del nostre projecte, on veurem què estem portant cada fase d'acord al temps estimat. Cada tasca serà dividida en dos parts. La primera durarà 2/3 del temps i l'objectiu serà, no haver finalitzat la tasca, però si tenir el projecte en un punt sense errors i funcional, on els requisits bàsics estiguin ja implementats i sense errors crítics. Una vegada entrem al tercer terç l'objectiu es finalitzar la tasca, per exemple afegint dades, fent retocs a la interfície... però la part difícil i crítica de l'estructura ja l'haurem acabat als primers dos terços.

Si arribem al cas anterior contractarem per un període de pocs dies a una altra persona per substituir o ajudar al membre que té problemes, per tal de complir el temps estimat per la tasca.

Per avaluar l'evolució del projecte utilitzarem un indicador per calcular el percentatge de la desviació (en dies) de la realització de les tasques.

$$\text{Indicador} = ((\text{Dies previstos} - \text{Dies reals}) / \text{Dies reals}) * 100$$

I obtindrem un percentatge, on 0% indica que hem complert el termini establert i un percentatge negatiu indicarà un sobrecost. El nostre objectiu serà acostar-nos al 0% o, fins i tot, obtenir un percentatge positiu, que indicaria que hem acabat una tasca amb un temps inferior a l'esperat i ens podrem posar ràpidament amb la següent.

5 Sostenibilitat i compromís social

5.1 Comentaris inicials i matriu de sostenibilitat

La realització del projecte tindrà un impacte ambiental molt petit, doncs només utilitzarem 3 PCs, i és un projecte de software sense materials físics. Reutilitzar recursos no reudiria massa l'impacte ambiental, ja que parlem de software. La nostra solució millorarà bastant ambientalment a les altres doncs, com hem dit, tracta de forma global el concepte de vehicles i entorn, i és un problema real, doncs els que utilitzin la aplicació estalviaran bastant fer proves amb vehicles reals i contaminants.

Tots els costos de la realització del projecte, tant de recursos humans com materials, han estat estimats i justificats. Respecte al propi problema, actualment sí s'utilitzen simuladors, tot i que les proves amb vehicles reals segueixen tenint molt pes. A més, amb el nostre simulador volem donar un enfocament a l'impacte dels vehicles tenint en compte l'escenari i els obstacles, la qual cosa no es realitza tant. Al integrar en un únic programa la simulació dels vehicles, la interactuació amb l'entorn, els obstacles i les capacitats dels conductors, el client estalviará diners, per suposat si pertany al públic objectiu que vam plantejar a l'abast del projecte.

Aquest és pràcticament el primer projecte seriós que faig, enfocat al meu futur professional, i pràcticament sol (a diferència dels fets a les assignatures), on tindrè que buscar-me molt la vida i portar-lo amb molta responsabilitat, per tant m'aportarà molt a nivell personal. A més que mai he programat res com això, una simulació seriosa, i estic entusiasmat. Crec que hi ha necessitat del projecte, doncs avarca un concepte precís i clar, un problema real des de la perspectiva global (interactuació dels vehicles amb l'entorn, obstacles i conductors), i en aquest sentit ajudarà. La qualitat de vida millorarà una mica, especialment pels que utilitzin el projecte, doncs ells estalviaran temps i diners, i reduiran l'impacte ambiental, però en aquest tema no ens fiquem massa.

	PPP	Vida útil	Riscos
Ambiental	Consum del disseny: 8	Petjada ecològica: 20	Riscos ambientals: -8
Econòmic	Factura: 6	Pla de viabilitat: 16	Riscos econòmics: -4
Social	Impacte personal: 10	Impacte social: 18	Riscos socials: -2
Rang	24/30	54/60	-14/-60

Farem un anàlisi de la matriu per files, analitzant en detall cada dimensió de la sostenibilitat.

5.2 Estudi d'impacte Ambiental

Consum del disseny: La realització d'aquest projecte té un baix consum energètic, doncs només utilitzarem 3 PCs.

Petjada ecològica: No té cap petjada ecològica, doncs és un projecte de software al 100%.

Riscos ambientals: Si la simulació fallés en algun punt podria, en comptes de estalviar proves reals i benzina, acabar gastant-ne més, doncs vam treballar sobre un resultat erroni.

5.3 Estudi d'impacte Econòmic

Factura: Com que hem de comprar els tres PCs i tenim molta gent contractada treballen a quasi totes les tasques, el cost és una mica elevat.

Pla de viabilitat: Li donem bastant viabilitat doncs l'hem especificat molt per tal de que el puguem desenvolupar amb èxit, i el nostre objectiu és realista.

Riscos econòmics: Pot passar que el temps s'allargui si ens estanquem en alguna tasca, però amb totes les mesures que hem plantejar per prevenir-ho no li donem massa importància.

5.4 Estudi d'impacte Social

Impacte personal: Com s'ha dit abans aquest serà el primer projecte seriós que faci, i a més sobre una simulació, per tant l'agafo amb ganes i sé que m'aportarà molta experiència pel meu futur.

Impacte social: El projecte beneficiarà molt als usuaris de la aplicació en quant a temps i diners, però no té gaire impacte social. Segurament faci les carreteres més segures, però no en gran mesura respecte a l'actualitat.

Riscos socials: Igual que als riscos ambientals, un error en la simulació podria arribar a causar alguns accidents, però s'espera que l'usuari sigui previsor per evitar-ho.

6 Desenvolupament del projecte

Després d'acabar el curs GEP, de 50 dies de duració, toca seguir la planificació que hem fet i desenvolupar el projecte. En aquest apartat es detalla el treball fet, els problemes sorgits i com s'han resolt, i els resultats.

6.1 Posada a punt de l'entorn (4 dies)

La primera tasca, de 4 dies de duració, és la de posada a punt de l'entorn. La meua directora em va enviar la documentació de Qt de les assignatures de G i IDI (que a més son diferents de quan jo les vaig fer). Després de molts maldecaps intentant fer funcionar l'entorn al meu PC de casa amb Windows, he decidit anar a treballar a la universitat, a l'entorn Linux utilitzat als laboratoris de IDI i G, on a més tindrè a la meua directora a prop per qualsevol dubte.

6.2 Investigació de la física dels vehicles (6 dies)

[17][18][19]

6.2.1 Les forces

Per començar considerarem el vehicle conduït en línia recta i analitzarem les forces que hi actuen. La força longitudinal final és la suma de:

$$F_{\text{long}} = F_{\text{trac}} - F_{\text{aire}} - F_{\text{rod}}$$

- F_{trac} és la força de tracció.
- F_{aire} és la força causada per la resistència aerodinàmica.
- F_{rod} és la força causada per la resistència al rodament.

Quan el vehicle s'està movent a una velocitat constant la suma d'aquestes forces és zero.

6.2.2 Força de tracció

Primer tenim la força tractora [20], la qual és proporcionada pel motor a través de les rodes. El motor proporciona una certa quantitat de *parell* [21], que és un equivalent rotacional de la força.

El parell que el motor pot donar depèn de la velocitat a la qual està girant, expressat en rpm (revolucions per minut), i no tenen una relació lineal: hem de mirar la taula del motor específic per passar de rpm a parell. El parell del motor es converteix i s'aplica a les rodes del darrera, però hem de tenir en compte que un % de l'energia es perd com a calor.

El parell de l'eix posterior es pot convertir en força de la roda a la superfície dividint-lo pel radi de la roda. Amb totes aquestes dades podem calcular la força de tracció o tractora.

$$F_{\text{trac}} = T_{\text{motor}} * x_{\text{marxa}} * x_{\text{dif}} * n / r_{\text{roda}}$$

- T_{motor} és el parell del motor amb unes certes rpm.
- x_{marxa} és el *ratio* (proporció) dels engranatges, que alteren les revolucions per minut del motor abans d'aplicar-les a les rodes
- x_{dif} és el *ratio* diferencial.
- n és l'eficiència de la transmissió, més òptim quan ens acostem a 1.
- r_{roda} és el radi de la roda.

Hem de tenir en compte el pedal de l'accelerador com a concepte. A la fórmula anterior, T_{motor} és el parell màxim que el motor proporciona donades unes certes rpm, i s'aconsegueix quan premem el pedal al màxim. Per tant, aquest valor es multiplicarà per un altre que va de 0 a 1 linealment, segons com s'està prement el pedal.

Augmentarem o reduïrem els RPM d'acord amb la situació. La corba de parell no està definida per sota d'un cert punt ni per sobre d'un altre punt, per tant haurem de limitar els RPM.

Per calcular la velocitat necessitem la força tractora, per calcular la força tractora necessitem el parell, per calcular el parell necessitem els rpm i per calcular els rpm necessitem la velocitat. Tot sembla formar un cicle on necessitem la velocitat per calcular la velocitat, llavors com ho solucionem?

És un exemple d'equació diferencial: tenim equacions de diferents variables que depenen mútuament entre elles. Utilitzarem la tècnica d'integració numèrica: si coneixem totes les variables al temps t , podrem calcular les variables del temps $t+\delta$. Fem fotografies d'instantes de temps per obtenir valors i utilitzar-los per calcular valors futurs. Si les diferències de temps són suficientment petites obtindrem els resultats que volem.

6.2.3 Forces de resistència

Ara analitzem les forces de resistència que impedeixen que el vehicle acceleri fins a infinites velocitats. La més bàsica és la resistència a l'aire, és a dir, resistència aerodinàmica, i és tan important perquè és proporcional al quadrat de la velocitat.

$$F_{\text{aire}} = 0.5 * p * C_{\text{aire}} * A_f * v^2$$

- p és la densitat de l'aire, la prendrem en condicions normals de pressió i temperatura, i val 1.225 kg/m^3 .
- C_{aire} és el coeficient aerodinàmic i depèn de la forma del vehicle.
- A_f és l'àrea frontal del vehicle i es calcula en funció de les seves dimensions.
- v és la velocitat del vehicle.

Després tenim la resistència al rodament [22][23][24][25][26] causada per la fricció de la roda i la superfície, i la deformació del pneumàtic. Aquesta té més pes respecte a la resistència aerodinàmica a baixes velocitats.

$$F_{\text{rod}} = C_{\text{rod}} * P$$

- C_{rod} és el coeficient de rodament. Es calcula empíricament, i depèn tant dels pneumàtics com de la superfície, donant moltes combinacions.
- P és el pes del vehicle.

Tenim 3 tipus de pneumàtics disponibles per la simulació: turisme (que avarca tots els vehicles normals de petita i mitjana mida), camió i tractor.

	Formigó sec	Formigó mullat	Terra sec	Terra mullat	Grava	Sorra	Neu compactada	Gel
Turisme	0.011	0.011	0.050	0.080	0.020	0.300	0.016	0.011
Camió	0.008	0.008	0.040	0.060	0.020	0.250	0.013	0.008
Tractor	0.020	0.020	0.030	0.040	0.020	0.200	0.022	0.020

Inicialment el vehicle no es mourà fins que no aconseguixi una força de tracció suficientment gran com per superar la resistència de rodament, doncs la resistència aerodinàmica és zero (vehicle parat), tot-hi que els seus RPM continuaran augmentant, encara amb el vehicle parat, fins aconseguir la força inicial suficient.. Quan aconseguim superar-la llavors ens comencem a moure, lluitant contra les dues resistències.

6.2.4 Paràmetres derivats

L'acceleració del vehicle (m/s²) ve determinada per la segona llei de Newton.

$$a = F/m$$

La velocitat del vehicle (m/s) l'obtenim integrant l'acceleració respecte el temps. Utilitzarem el mètode de *Euler* per integració numèrica.

$$v = v + dt * a,$$

- dt és l'increment de temps en segons entre crides subseqüents del motor de físiques.

La posició del vehicle també es determina de la mateixa forma, integrant la velocitat respecte al temps.

$$p = p + dt * v$$

Amb aquestes tres forces podem simular bastant acuradament l'acceleració del vehicle. També dictaran la velocitat màxima donades les capacitats del motor sense necessitat de controlar-ho manualment, gràcies a les equacions.

6.2.5 Frenada

Quan frenem [27] hem de substituir la força tractora per la força de frenada, que va en la direcció oposada.

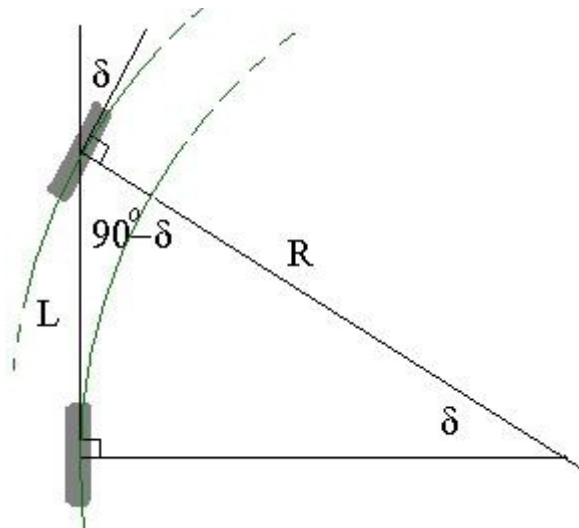
$$F_{fre} = \mu * P$$

- μ és el coeficient de fregament del terra. El tractarem més endavant.
- P és el pes del vehicle.

6.2.6 Velocitat angular a les corbes a baixa velocitat

Hem de tenir en compte que simular la física del gir a baixa velocitat és diferent que a alta velocitat [28][29]. A baixa velocitat les rodes avancen en la direcció a la que miren, i es torna un problema de geometria i cinètica sense tenir en compte forces i masses. A alta velocitat les rodes poden apuntar a una direcció mentre que el vehicle es mou en una altra, causant fricció. En aquests casos on les rodes es mouen de costat hem de tenir en compte aquestes forces, però és problemàtic, doncs el conductor (i el vehicle en sí) perd el control i comença a rrelliscar. Podríem intentar simular aquestes corbes a alta velocitat, però no ens convé. El nostre objectiu és fer una simulació per garantir la eficàcia i seguretat, i no volem arribar a l'extrem en què el vehicle faci una corba massa tancada a massa velocitat, perdi el control i comenci a rrelliscar. Volem fer les corbes i limitar la velocitat a certs punts de tal forma que el conductor sempre tingui el control total del vehicle i, mitjançant la simulació, assegurar que l'entorn es eficient i segur, i l'usuari mai rrelliscarà. Per tant ens enfocarem en simular la física bàsica longitudinal i les corbes a baixa velocitat, per tal d'evitar que l'usuari es trobi fent corbes rrelliscant a alta velocitat, posant tot el nostre esforç també en els paràmetres externs de la simulació que ja hem parlat.

Anem a tractar les corbes a baixa velocitat, on assumim que les rodes es mouen en la direcció en què estan mirant, rodant en comptes de rrelliscant. Si les rodes frontals es giren un angle *delta* i el vehicle es mou a velocitat constant, llavors es descriu un cercle, el centre del qual podem trobar traçant dues línies que surten del centre de cada ronda, perpendiculars a la seva direcció. Per calcular el radi d'aquest cercle utilitzarem la geometria, tal com veiem al següent diagrama:



Dibuix 3: Radi de la circumferència en una corba a baixa velocitat

Representa el vehicle des de dalt, amb la roda posterior sense girar però proporcionant força, i amb la roda davantera girant. La distància entre les dues rodes és coneguda i val L . El radi de la circumferència descrita per la roda davantera és R , i així ho fem per obtenir un triangle rectangle on els altres dos angles són coneguts, però en funció de *delta* (δ). També tenim que δ és el mateix angle que l'introduït a la roda davantera per l'usuari, per tant és conegut. Utilitzem la fórmula del sinus:

$$\sin(\delta) = L/R$$

$$R = L/\sin(\text{abs}(\delta))$$

Si l'angle de la roda és 0, el radi és infinit, això significa que conduïm en línia recta. Prenem el valor absolut de l'angle, doncs R ha de ser sempre positiu, i si l'angle és negatiu vol dir que el prenem com positiu des de l'altra banda. Ara hem de calcular la velocitat angular ω , expressada en rad/s. Si conduïm en cercles a una velocitat constant de v i el radi del cercle és R , quant trigarem a completar un cercle?

$$\omega = v/R$$

Utilitzant aquestes dues equacions podem conèixer com de ràpid el vehicle girarà donats un angle i una velocitat específica. Això és tot el que necessitem per corbes a baixa velocitat. L'angle de girada δ és un *input* de l'usuari, i la velocitat del vehicle ve determinada per la física del vehicle en línia recta, doncs el vector velocitat sempre apunta en la direcció del vehicle. Utilitzarem la velocitat angular per canviar l'orientació del vehicle. La seva velocitat no està afectada pel gir, el seu vector només rota per igualar la direcció del vehicle.

6.2.7 Fricció amb el terreny i velocitat màxima de gir

Però... com determinarem si una velocitat és baixa o alta? Haurem de treballar amb el coeficient de fregament μ , el quals ens dirà quina velocitat és baixa, i per tant treballarem la física de corbes a baixa velocitat, i quina velocitat és alta, i per tant hem de treballar la física de corbes a alta velocitat.

La força que permet al vehicle girar la podem interpretar com força centrípeta, però també és la força de fricció o fregament la que permet al vehicle girar. Igualant les dues forces podem treure conclusions.

$$F_{\text{cent}} = m \cdot v^2 / R$$

$$F_{\text{freg}} = \mu \cdot P$$

$$m \cdot v^2 / R = \mu \cdot m \cdot g$$

$$v^2 = \mu \cdot g \cdot R$$

$$v = \text{sqrt}(\mu \cdot g \cdot R)$$

En casos en què el terra tingui molta fricció, com per exemple formigó, la velocitat que obtenim és alta, mentre que si hi ha poca fricció, com per exemple sobre gel, obtenim un valor molt més petit. Per tant, amb poca fricció, la velocitat màxima que considerem perquè les corbes apliquin la física de corbes a baixa velocitat és petita. Si correm una mica massa perdrem el control del vehicle i rrelliscarem, aplicant la física de corbes a alta velocitat. En canvi, si hi ha molta fricció, aquesta velocitat màxima augmenta, per tant podem fer corbes a velocitats més altes sense perdre el control, aplicant la física de corbes a baixa velocitat. Com que el màxim valor de μ sol ser 1, potser una mica més en alguns casos però no massa, la velocitat màxima és limitada, per tant sempre acabarem rrelliscant si fem corbes a massa velocitat, sense importar si el terra té molta fricció.

Un altre paràmetre important a analitzar és la R (doncs la g no canvia). Una R molt gran, és a dir, si descrivim una corba molt gran, i per tant girem a poc a poc, donarà una velocitat màxima molt alta, és a dir, és difícil perdre el control fent una corba tan oberta. Per l'altra banda, si la R és petita, tenim una circumferència petita, on girem a molta velocitat, i és més fàcil perdre el control.

Amb totes aquestes dades podrem fer la simulació sense problemes, doncs podrem calcular la velocitat màxima permesa al vehicle per tal que pugui avançar sense començar a rrelliscar i perdre el control, així com, si volem tal velocitat, com de tancada podem fer les corbes sense arribar a aquest perill, tot això tenint en compte el coeficient de fricció del terra.

Necessitarem una taula de coeficients de fregament, obtinguts empíricament, per poder utilitzar aquesta fórmula, així com altres, com per exemple la força de frenada. El coeficient de fregament depèn de les condicions de l'entorn i de quins dos materials estem tractant. Considerarem sempre que les rodes són de goma, per tant només dependrà del material de la carretera. El coeficient canvia si tractem el cas estàtic o el cas dinàmic, però sempre que l'utilitzem serà en casos dinàmics, per tant no ho tindrem en compte. No tenim els valors exactes sinó rangs de valors, però farem una aproximació.

	Formigó sec	Formigó mullat	Terra sec	Terra mullat	Grava	Sorra	Neu compactada	Gel
μ	0.7	0.5	0.6	0.5	0.65	0.45	0.4	0.15

6.3 Implementació de la física dels vehicles (15 dies)

6.3.1 Estructura del temps

Simularem la física per un instant de temps que anomenarem *step*. Un segon equival a 60 *steps*, doncs l'ull humà només veu entre 30 i 60 *frames* per segon. Calcular la física 60 vegades per segon serà suficient per obtenir la qualitat que volem mitjançant els mètodes que explicarem més endavant, així com per mostrar una animació fluida.

6.3.2 Moviment longitudinal

Després calculem quines forces actuen longitudinalment sobre el vehicle. En primer lloc tenim la força tractora, que calculem a partir del parell del motor i la marxa seleccionada, entre d'altres paràmetres. Aquesta serà la força positiva que impulsarà el vehicle en la direcció en que està mirant. A partir dels RPM, és a dir, les revolucions per minut del motor del vehicle, valor que puja constantment quan prenem el pedal, podrem calcular el parell motor pel càlcul. Tenim dues forces en sentit contrari que ofereixen resistència. Primer la resistència aerodinàmica, que té en compte la pressió de l'aire, el coeficient aerodinàmic i àrea frontal del vehicle, i el quadrat de la seva velocitat. Aquesta és la principal força contrària, doncs augmenta amb el quadrat de la velocitat, i dictarà la màxima velocitat que podrem assolir. Després tenim la resistència al rodament, que té en compte el pes del vehicle i el coeficient de rodament. Aquest coeficient el llegirem d'una taula a partir de la combinació del tipus de pneumàtic i del material del terra. També hem de tenir en compte la part del fre. En aquesta mateixa part tenim el càlcul del fre. Primer ajustem la marxa actual d'acord amb el recorregut, començant amb la primera marxa i augmentant a mesura que ens acostem a la velocitat màxima, si hi ha, en aquell moment. Llavors, si rebem una ordre de frenada, per exemple quan apareix un obstacle o un vehicle, o si ens passem de la velocitat màxima, llavors substituïm la força tractora per la força de fre, que es calcula a partir del pes del vehicle i del coeficient de fricció. Aquest coeficient és diferent al coeficient de rodament, però també es calcula a partir del material del terra. Quan accelerem tenim el pedal d'acceleració que passa de l'estat lliure a l'estat premut, igual pel fre amb el pedal de fre, per tant hi ha una mica de retard entre que rebem l'ordre i l'executem plenament.

Una vegada tenim la força tractora i les dues forces de resistència podem passar a calcular el moviment. Primer obtenim l'acceleració, amb signe, mitjançant la força resultat, suma de les forces anteriors, i la massa del vehicle. Mitjançant el mètode *d'Euler* per integració numèrica obtenim l'increment de velocitat del vehicle, tot integrant l'acceleració respecte al temps. Això ho fem multiplicant l'acceleració obtinguda pels *frames per segon*, que hem escollit com 1/60, modificant la velocitat a cada *step* a partir de la velocitat del *step* anterior. Amb aquesta dada podem tornar a integrar respecte al temps i obtenir l'increment de posició linealment. Mitjançant la variable de direcció, en graus, que ens diu cap a on mira el vehicle, i les funcions *sin* i *cos*, podem obtenir l'augment a les coordenades *x*, *y*, per tal de desplaçar el vehicle al llarg dels dos eixos en la direcció en que està mirant i a la velocitat amb què es mou.

També és important veure que aquí és on calculem el gir. Com que només tenim en compte girs a baixa velocitat, hem de girar el vehicle abans d'integrar la velocitat, per tal que ens moguem a través dels eixos de coordenades *x,y* en la direcció correcta. Per tal de calcular el gir primer hem d'obtenir el punt al qual ens volem moure, és a dir, el punt de la carretera assignada més proper. Obtenim l'angle del vehicle al punt i simulem el gir del volant en la direcció apropiada, el qual té un límit. A partir del gir de les rodes davanteres gràcies al volant calculem el radi del cercle imaginari que descriuria el vehicle si es moguéss amb aquest gir a les rodes davanteres, i utilitzem aquest radi per calcular la velocitat màxima per corbes a baixa velocitat. Aquest valor el calculem a partir de l'acceleració de la gravetat, el coeficient de fricció que hem vist anteriorment i el radi. Aquest valor, la velocitat màxima per corbes a baixa velocitat, diu la velocitat màxima a la qual podem fer la corba actual, definida pel radi calculat, sense relliscar. Una corba molt tancada tindrà una velocitat màxima molt baixa per tal que el vehicle no rellisqui en fer-la. Si la superem sortirà un missatge d'accident indicant que el vehicle està relliscant, i l'execució pararà. A mesura que executem el gir també tindrem en compte si el vehicle ha sortit de la carretera, mostrant un missatge d'accident indicant que el vehicle ha sortit de la carretera. Aquests dos missatges provoquen accidents i acaben l'execució a l'instant, doncs el nostre objectiu és trobar els paràmetres per fer una simulació segura.

6.3.3 Representació del terreny

El primer pas per tractar el terreny és pensar com el representarem. L'estructura bàsica estarà formada per carreteres d'un determinat material, ja siguin de terra o formigó, o fins i tot de sorra o gel. L'objectiu de la nostra simulació és garantir que el vehicle no surt de la carretera, és a dir, que aquesta està dissenyada de forma correcta per tal que sigui totalment possible, d'acord amb les característiques de l'entorn i el vehicle, avançar sense sortir-se'n, acció que comptarà com accident i aturarà l'execució, com hem vist abans. Representarem les carreteres com un conjunt de punts lineals. Cada carretera en sí mateixa serà una classe, i representarà una carretera sense desviacions, completament lineal, d'una amplada determinada. Per construir carreteres més complexes, d'acord amb les necessitats de l'usuari, simplement podem definir més carreteres i ajuntar-les. Tractarem l'escenari en 2D, sense pujades ni baixades, per facilitar la feina i poder-nos enfocar en els altres punts importants del projecte.

Per començar l'usuari donarà l'amplada de la carretera i les coordenades x,y del primer punt, de l'inici. A partir d'aquí podrà definir un nombre indeterminat de punts. Per cada punt haurà de donar el seu angle i la seva velocitat màxima. La distància entre els punts és un valor fix calculat a partir de l'amplada que l'usuari no pot canviar, per tal d'assegurar la correcta construcció de la carretera. Les coordenades de cada punt seran calculades automàticament a partir de les coordenades del punt anterior, el seu angle i la distància entre punts, mitjançant les funcions trigonomètriques sinus i cosinus. Cada punt, al mateix temps, calcularà uns altres dos punts perpendiculars a la direcció de la carretera, és a dir, a l'angle d'aquell punt, a distància $\text{amplada}/2$, per definir els vèrtex que utilitzarem per dibuixar la carretera, és a dir, el seu perímetre. Amb tot això ja tenim una carretera fàcil de construir però amb molta flexibilitat.

6.3.4 Interactuació amb el terreny i corbes

Cada vehicle té assignada una carretera. El vehicle intentarà recórrer la carretera sense sortir-se'n. Per aconseguir-ho llegirà el punt més proper i llavors utilitzarem la física de corbes a baixa velocitat perquè el vehicle pugui girar i arribar al final de la carretera sense cap accident, agafant com a objectiu el punt següent al punt més proper, així sempre es manté al centre de la carretera, avançant en la seva direcció.

6.3.5 Visualització de l'entorn 3D

En una primera aproximació fem que l'usuari pugui utilitzar el ratolí per moure's al voltant de l'escena, i així veure-la des de qualsevol punt de vista, així com fer zoom. Utilitzem els dos angles *d'Euler* per la rotació. Altres funcionalitats es detallen en els següents apartats.

6.3.6 Canvi de marxes i punts de limitació de velocitat

El nostre objectiu és programar, a continuació, el canvi de marxes [30][31]. L'objectiu de la simulació és assegurar que transitar per la carretera és segur i a la màxima velocitat possible, amb cert marge de seguretat, canviant sempre a la marxa més òptima, així com controlant el pedal.

Per començar voldrem utilitzar les primeres marxes, doncs donen més potencia, ja que arrancar el vehicle des del repòs és més costós. Una vegada el vehicle ja ha començat a moure's i ens acostem a la velocitat màxima que tenim assignada pujarem la marxa, doncs necessitem menys potència, només la necessària per mantenir el moviment. És en aquest punt on llegim la velocitat màxima assignada a cada punt de la carretera. El pedal d'acceleració estarà premut al màxim i l'alliberarem quan ens acostem a la velocitat màxima permesa, punt a partir del qual el pedal s'ajustarà automàticament a un valor correcte entre 0 i 1 segons les necessitats del vehicle per mantenir la velocitat estable. Si estem massa lluny d'aquesta velocitat estable llavors premerem el pedal del fre, que aplicarà la força de fre en la direcció contrària del moviment, i ens acostarem. Cada vegada que augmentem una marxa els RPM del vehicle es redueixen al mínim que permet la corba I, quan reduïm una marxa, augmenten fins al màxim que els RPM permeten, tot això per acostar-nos més a la realitat.

Una vegada ja tenim això passem a justificar aquest límit de velocitat. Això es pot traduir més endavant a senyals de trànsit per limitar la velocitat, o simplement punts on limitem la velocitat per tal de testejar la física del vehicle a diverses situacions. En primer lloc, quan una corba és massa tancada, fer-la a massa velocitat provoca que el vehicle rellisqui, per tant voldrem limitar la velocitat en aquest tram. També volem limitar la velocitat si hi ha obstacles a la carretera, com per exemple animals que puguin creuar en qualsevol moment, per tenir temps per reaccionar i frenar. Per aquestes raons i moltes més, donarem a l'usuari com a eina la capacitat de poder definir punts amb la velocitat limitada a qualsevol part de les carreteres. Només haurà de definir-lo i aquest limitarà la velocitat màxima des d'aquell punt fins al final de la carretera, excepte si es defineix un altre límit més endavant. Si no es defineix cap velocitat màxima a cap punt, o encara no hem arribat a cap, la seva velocitat màxima no tindrà límit més que el propi límit autoimposat per les fórmules físiques i matemàtiques, referent al punt en que la força de fregament és massa gran i la força tractora del motor no la pot vèncer.

6.4 Investigació dels paràmetres externs de la simulació (3 dies)

6.4.1 Terra mullat

Un terra mullat té varies implicacions que ja hem tractat a punts anteriors. Només tractarem formigó mullat i terra mullat. Tot-hi que tenim investigats més materials, com el gel o la sorra, la seva versió mullada no té rellevància.

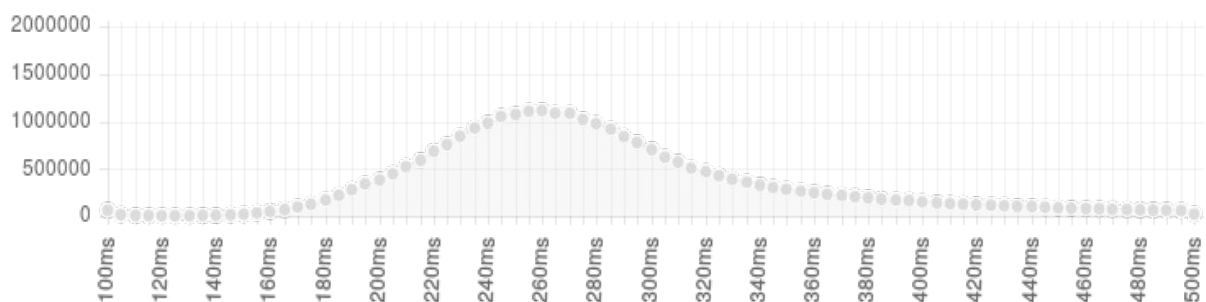
Si el terra està sec o mullat serà una variable global que l'usuari podrà posar a certa o falsa. Afecta a dos coeficients de la simulació: el coeficient de rodament i el coeficient de fregament.

En primer lloc, el coeficient de rodament afecta a la fórmula de la resistència al rodament. Té un valor més alt quan la superfície és mullada, això vol dir que augmenta la resistència al rodament quan el terra és mullat. Per tant, en aquesta situació, l'acceleració i velocitat màxima del vehicle es veuen molt reduïdes.

En segon lloc, el coeficient de fregament afecta a les fórmules de la força de frenada i de la velocitat màxima a les corbes. Aquest funciona a la inversa: té un valor més alt quan la superfície és seca. Aquest coeficient és el més important i és el que realment porta un gran perill, doncs l'anterior només ens limita la velocitat màxima. Si el terra és mullat la nostra força de frenada disminueix, i a més la velocitat màxima a la qual podem fer les corbes sense relliscar també redueix. Això augmenta el risc d'accidents en multitud de situacions.

6.4.2 Temps de reacció

El primer paràmetre important a treballar és el temps de reacció [32], el qual afegeix un retard entre que el conductor rep informació sensorial, ja sigui visual o auditiva, la processa i actua. No tindrem en compte el temps de reacció a l'hora d'interactuar amb els punts marcats per limitar la velocitat, doncs és un detall negligible de cara al que ens interessa. Volem que aquest paràmetre sigui molt baix, així el conductor podrà reaccionar a obstacles i prendre decisions de forma ràpida. A continuació el gràfic que utilitzarem.



Dibuix 4: Gràfic de temps de reacció

Tenim dos valors que podem utilitzar: la mitjana i la mediana. La primera dada es veu malmesa quan tenim valors massa grans o massa petits i no podem assegurar que siguin correctes, o simplement una concentració massa gran de valors alts o petits, i llavors la mitjana no representa fidelment a la majoria de valors del grup. En canvi la mediana té en compte aquestes desviacions, i és un valor que representa més fidelment la realitat, per tant utilitzarem aquesta, tot i que serà només un indicador, doncs l'usuari podrà introduir el valor que vulgui per a cada conductor.

Temps de reacció (mediana) = 265 ms

Hi ha moltes causes personals del conductor que afecten aquest paràmetre [33]: l'alcohol i les drogues, la fatiga, la somnolència... Nosaltres no tractem aquests temes al projecte, sinó que treballem directament amb el temps de reacció que l'usuari ens doni, el qual ell haurà calculat a partir d'aplicar totes aquestes dades al temps de reacció base del conductor. Per tant l'usuari tindrà la llibertat d'escollir el temps de reacció de cada conductor. Si estem simulant vehicles autònoms llavors simplement haurem d'introduir un temps de reacció proper a zero.

6.4.3 Boira

La boira redueix la visibilitat i impedeix veure més enllà d'una certa distància, depenent del tipus de boira. Aquí el temps de reacció és important, doncs podem tenir un accident amb qualsevol tipus d'obstacle, no només els mòbils. Igual que al cas anterior, si una carretera té altes possibilitats de tenir boira, haurem de posar un límit correcte de velocitat per donar temps als vehicles a frenar.

L'usuari tindrà total llibertat per definir la densitat de la boira, és a dir, a partir de quina distància màxima ja no podem veure.

6.4.4 Obstacles mòbils

Un perill constant és qualsevol obstacle mòbil que pugui aparèixer de sobte a la carretera. Persones caminant o corrent, algun animal que creua (especialment en carreteres de muntanya)... la peculiaritat d'aquest obstacle és que apareix de sobte. Prèviament a la seva aparició són totalment invisibles de cara a la simulació, per tant el temps de reacció té un paper clau per evitar els obstacles mòbils. L'objectiu és poder frenar per evitar xocar i esperar que l'obstacle desaparegui. Tenint en compte la possibilitat d'obstacles mòbils haurem de posar un límit correcte de velocitat a la carretera, així els vehicles tindran temps per frenar.

L'usuari podrà programar un obstacle mòbil perquè aparegui de sobte en qualsevol moment programat. No ens importa el tipus d'obstacle, doncs els tractarem tots iguals.

6.4.5 Distància de seguretat

Un paràmetre clau és la distància de seguretat [35], que indica la distància que tot vehicle ha de mantenir respecte el vehicle davanter per tal de tenir temps de frenar si hi ha qualsevol incidència. Aquest paràmetre es deixa amb total llibertat perquè l'usuari l'introdueixi.

6.5 Implementació dels paràmetres externs de la simulació (10 dies)

6.5.1 Terra mullat

La seva implementació ja està feta: només hem de seleccionar la versió mullada del material del terra, la qual cosa canviarà els coeficients de rodament i fregament, actuant a la simulació. No hem de fer res més.

6.5.2 Temps de reacció

Aquest tindrà efecte a l'hora de detectar obstacles. Cada vehicle tindrà el seu propi temps de reacció, modificable des de la interfície.

6.5.3 Boira

Aquesta tindrà efecte a l'hora de detectar obstacles [34], per tant no la tractarem encara. Encara que el conductor tingui problemes de visió això no afecta a la distància màxima a partir de la qual pot veure un obstacle llunyà, ho podem menysprear de cara a la simulació. Per tant tindrem un paràmetre global que serà la distància màxima a partir de la qual podem veure un obstacle llunyà, i si volem simular boira o qualsevol altre obstacle només haurem de reduir aquest paràmetre.

6.5.4 Obstacles mòbils

Aquest és el punt clau on el temps de reacció i la distància màxima de visualització tenen efecte. Passem a definir els obstacles, els quals constaran de dos paràmetres, a més de les coordenades: el temps que trigarà en aparèixer al punt i el temps que trigarà a desaparèixer, permetent al vehicle tornar a arrancar. Abans que l'obstacle aparegui aquest no estarà a l'escena, s'ignorarà completament. Llavors, quan el temps d'execució arriba al temps d'aparició de l'obstacle, aquest apareix de sobte, simulant obstacles amb comportament similar, com animals creuant. A partir d'aquest punt l'obstacle romandrà el temps de duració definit i, després, desapareixerà completament. Considerarem que hi haurà col·lisió amb l'obstacle quan la distància del vehicle a l'obstacle és inferior a la meitat de la llargada del vehicle més un petit valor arbitrari que representa la mesura de l'obstacle.

Però... quan frenarem? Aquí entra en joc la distància de seguretat.

6.5.5 Distància de seguretat

Per simplificar, el vehicle frenarà al màxim quan detecti un obstacle, d'acord amb la distància màxima de visualització, però també ho farà només quan estigui a una distància inferior a la distància de seguretat, ja que no volem frenar si, per exemple, ens trobem l'obstacle a 50 metres de distància. Una vegada el vehicle ha frenat romandrà en repòs fins que l'obstacle desaparegui. Els obstacles es defineixen a part, però cadascun té una carretera assignada, i cada vehicle només interacciona amb els obstacles que tenen la mateixa carretera assignada que ells.

De la mateixa manera que amb els obstacles, el vehicle frenarà al màxim quan detecti un vehicle a una distància inferior a la distància de seguretat i, paral·lelament, romandrà en repòs fins que el vehicle s'allunyi la distància suficient com per tornar a tenir la distància de seguretat intacta. No entrem massa en detall en les normes de conducció, per tant un dels dos vehicles, escollit arbitràriament, frenarà completament i donarà pas a l'altre vehicle. Quan l'altre hagi passat i estigui fora del rang, tenint en compte també la distància màxima de seguretat, llavors el vehicle podrà accelerar i continuar el seu camí.

6.5.6 Capsa contenidora de l'escena

Ara tractarem la capsa contenidora de l'escena per tal de poder visualitzar-la correctament. Haurem de recórrer tots els punts de totes les carreteres quan ho necessitem, per tal de calcular-la. Utilitzarem aquestes dades per fer les transformacions geomètriques pertinents per tal que la càmera sempre apunti al centre de l'escena, a una distància igual al radi de l'esfera contenidora, la qual es calcula a partir de la capsa contenidora. Així es podrà visualitzar l'escena des de qualsevol angle sense perdre detall. Per tal de fer zoom haurem de modificar el FOV (*Field of View*), l'angle d'obertura, de les especificacions de la càmera. No tindrem en compte els vehicles ni els obstacles de cara a calcular la capsa contenidora, doncs les carreteres són la clau, i cap dels dos anteriors estaran fora d'aquestes. De cara als vehicles tindrem en compte una alçada estàndard de 2 metres, més que suficient per calcular correctament la capsa contenidora de cara al nostre objectiu de treballar amb vehicles normals.

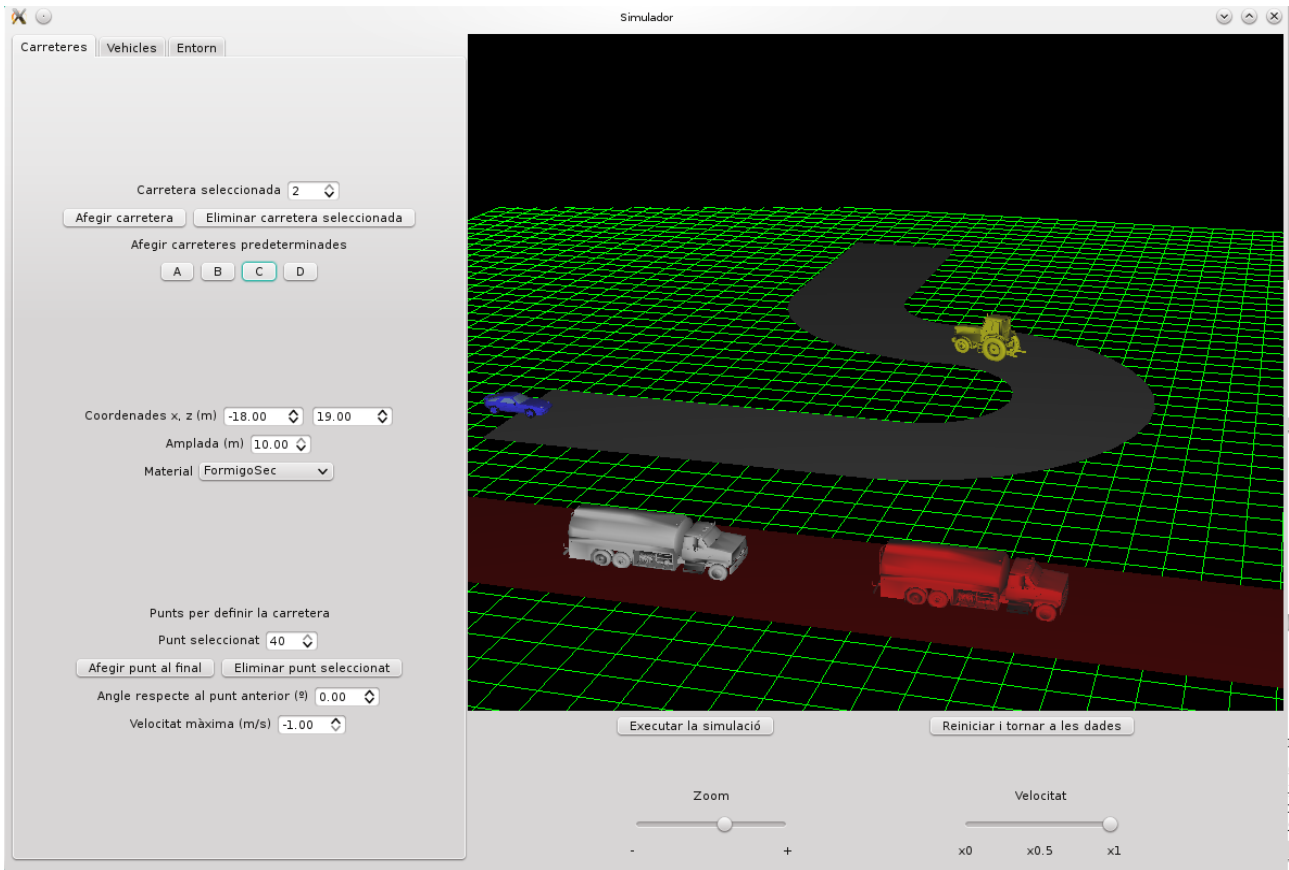
6.5.7 Càrrega de models

Per continuar tractarem el tema dels models. Hi haurà tres models base: Turisme, Camió i Tractor. El model del vehicle dependrà del tipus de roda escollit, la qual té exactament aquest tres mateixos possibles valors. A més, la llargada i amplada (i, per tant, proporcionalment, alçada) seran ajustades per representar les mesures reals del vehicle, i poder visualitzar amb menys errors les col·lisions. També carregarem el model de la vaca per que faci d'obstacle, com a una curiositat divertida, i perquè es vegi clarament com a obstacle que és.

6.6 Desenvolupament de la interfície gràfica (15 dies)

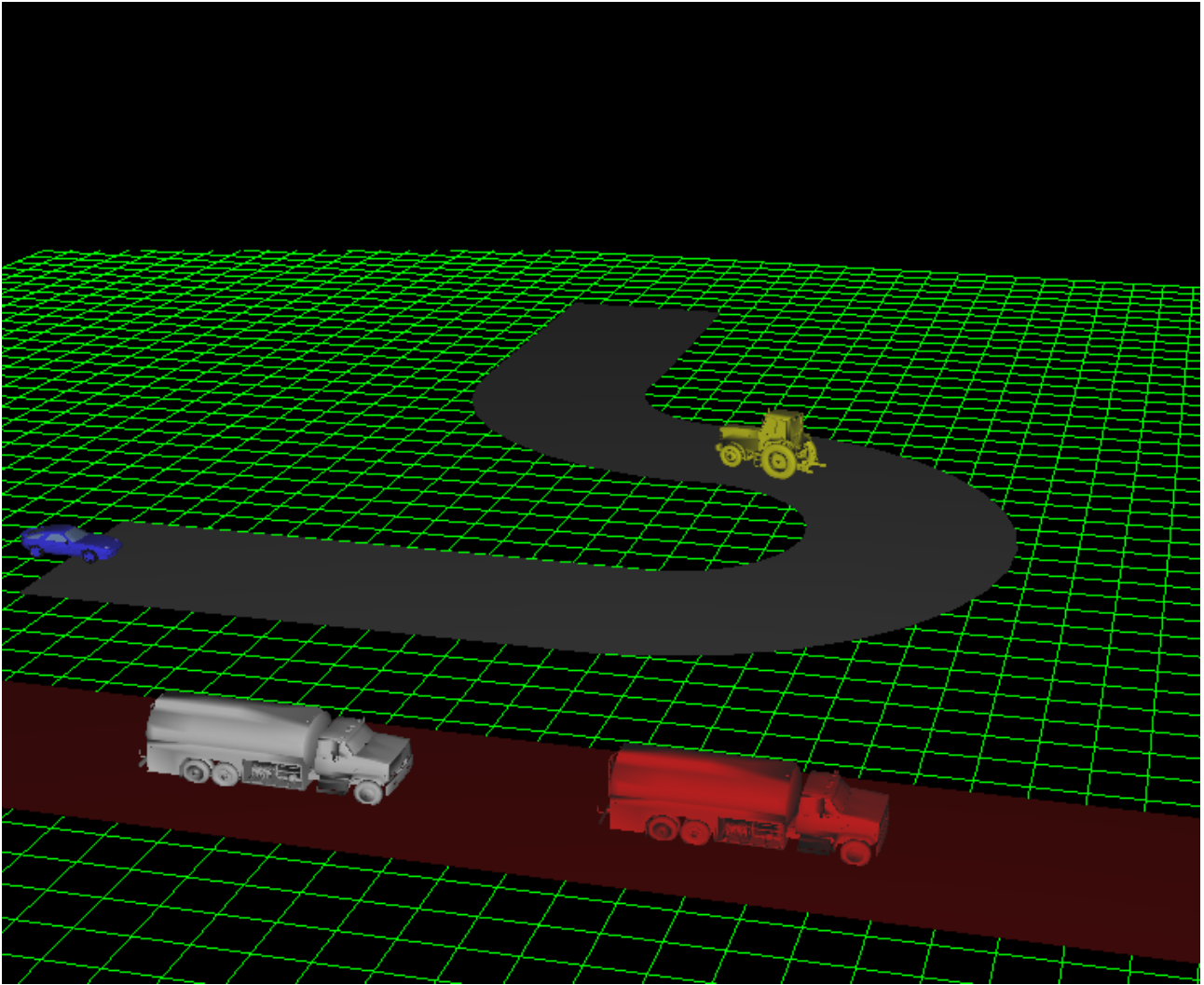
La nostra aplicació té com a objectiu usuaris amb experiència que vulguin una experiència més complexa. Hi ha la possibilitat de crear carreteres i vehicles predeterminats per poder fer simulacions de forma ràpida y senzilla, però també hi ha la possibilitat de crear i modificar amb tot luxe de detalls tots els aspectes de la simulació. Això dóna molta flexibilitat a l'usuari que vulgui fer una simulació més acurada, tenint control sobre cada paràmetre de cada aspecte.

A continuació mostrarem la interfície amb imatges i explicarem les funcionalitats.



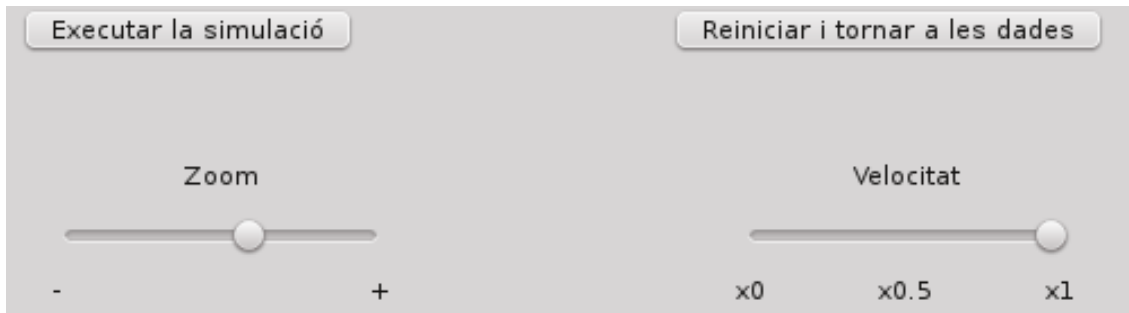
Dibuix 5: Interfície gràfica.

Aquesta és la interfície de la nostra aplicació. A l'esquerra tenim la **finestra d'edició** que conté tres pestanyes: Carreteres, Vehicles i Entorn, a la cantonada superior dreta tenim la **finestra de visualització**, i a la cantonada inferior dreta tenim la **finestra de reproducció**.



Dibuix 6: Finestra de visualització

A dalt tenim la **finestra de visualització** en 3D. La carretera, vehicle i obstacle seleccionats estaran il·luminats de vermell en el mode d'edició per poder veure què estem modificant, i quan executem es veurà l'animació en temps real aquí.



Dibuix 7: Finestra de reproducció

A baix tenim la **finestra de reproducció**. Quan executem la simulació la finestra d'edició desapareix, i torna quan reiniciem, ja sigui al finalitzar o després d'un accident. El *slider* de zoom ens permet apropar i allunyar la càmera, però sempre mirant al centre de l'escena, i el de velocitat ens permet ajustar la velocitat de reproducció, cosa que no altera en cap mesura l'execució.

Carreteres Vehicles Entorn

Carretera seleccionada 2

Afegir carretera Eliminar carretera seleccionada

Afegir carreteres predeterminades

A B C D

Coordenades x, z (m) -18.00 19.00

Amplada (m) 10.00

Material FormigoSec

Punts per definir la carretera

Punt seleccionat 40

Afegir punt al final Eliminar punt seleccionat

Angle respecte al punt anterior (°) 0.00

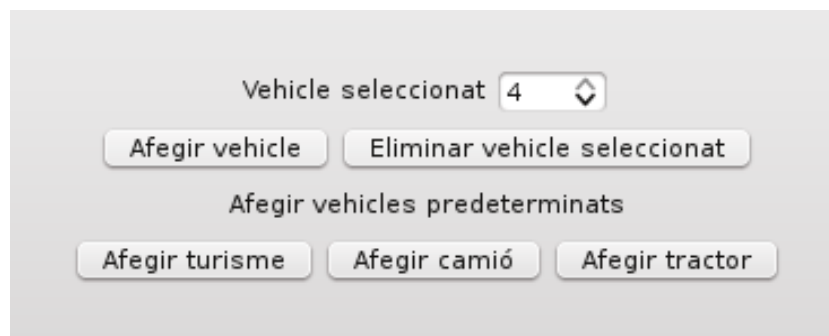
Velocitat màxima (m/s) -1.00

Dibuix 8: Finestra d'edició: Carreteres

Aquesta és la **finestra d'edició**. Té tres pestanyes a tractar. La primera fa referència a les **carreteres**. Podem afegir noves carreteres i eliminar carreteres existents. Tenim la possibilitat d'afegir vèries carreteres predeterminades diferents per poder fer simulacions ràpides o per tenir un punt de partida. Mitjançant el *spinbox* superior podem canviar la carretera seleccionada. Totes les dades inferiors modificaran la carretera seleccionada, com hem dit abans.

La primera part correspon a les dades bàsiques: les coordenades inicials, l'amplada i el material. La segona part és més complexa i correspon a la construcció de la carretera. Podem anar afegint punts, definint l'angle relatiu respecte al punt anterior i el límit de velocitat, així com eliminar el punt seleccionat. Utilitza la mateixa mecànica que el *spinbox* anterior.

El programa tindrà la capacitat per crear 10 carreteres, més que suficients per fer proves amb el propòsit que té i per mostrar les meves capacitats en aquest treball. El programa reservarà espai per tots aquests elements i podrem anar afegint més, expandint la memòria, enllà cap a on l'hem reservada. Per tant el programa és eficient en memòria i temps, doncs no crearà els elements que no utilitzi ni treballarà amb ells.



Dibuix 9: Finestra d'edició: Vehicles, 1

La segona pestanya fa referència als **vehicles**. Podem afegir nous vehicles i eliminar vehicles existents. Tenim la possibilitat d'afegir varis vehicles predeterminades diferents: Turisme, Camió i Tractor. Mateixa mecànica que amb les carreteres mitjançant un *spinbox*. La capacitat màxima de vehicles és de 50, seguint la mateixa mecànica que amb el nombre de carreteres.

Estat inicial Dades bàsiques Dades complexes

Valor dels paràmetres a l'instant inicial

Carretera assignada a aquest vehicle 1

Coordenades x, z (m) 35.00 19.00

Velocitat (m/s) 0.00 Direcció vehicle (º) 0.00

Pedal acceleració 0.00 Pedal fre 0.00

Dibuix 10: Finestra d'edició: Vehicles, Estat inicial

A l'estat inicial definirem l'estat en què es troba el vehicle quan iniciem l'execució. Cada vegada que reiniciem l'execució tots els vehicles tornaran a aquest estat.

The image shows a software window titled 'Dades complexes' (Complex Data) with three tabs: 'Estat inicial', 'Dades bàsiques', and 'Dades complexes'. The 'Dades complexes' tab is active. It contains several input fields and buttons:

- 'Marxa seleccionada' (Selected gear) is set to 5.
- Buttons: 'Afegir marxa al final' (Add gear at the end) and 'Eliminar marxa seleccionada' (Remove selected gear).
- 'Marxa' (Gear) is set to 1.00.
- 'Punts per definir la corba de RPM/Parell' (Points to define the RPM/Torque curve) section:

 - 'Punt seleccionat' (Selected point) is set to 11.
 - Buttons: 'Afegir punt al final' (Add point at the end) and 'Eliminar punt seleccionat' (Remove selected point).
 - 'RPM (rev/min)' is set to 6000.00.
 - 'Parell (N*m)' is set to 10.00.

Dibuix 12: Finestra d'edició: Vehicles, Dades complexes

A les dades complexes definirem especificacions tècniques com a la part anterior, però aquestes no són només un valor. Per la part de marxes haurem de definir el valor de cada marxa, mentre que per la part de corba de RPM/Parell haurem de construir aquesta corba, punt per punt, donant els valors de cada eix. Com hem dit abans són detalls tècnics explicats anteriorment.

Carreteres Vehicles Entorn

Graella - Distància entre línies (m) 2

Distància màxima de visualització (m) 1000.00

Distància de seguretat (m) 25.00

Obstacles

Obstacle seleccionat 0

Afegir obstacle Eliminar obstacle seleccionat

Temps d'aparició (s) 0.00 Durada (s) 0.00

Coordenades x, z (m) 0.00 0.00

Carretera assignada a aquest obstacle 1

Dibuix 13: Finestra d'edició: Obstacles

La tercera pestanya fa referència al l'**entorn**. En primer lloc podem definir paràmetres globals de l'escena, I en segon lloc podem definir els obstacles, mitjançant la mateixa mecànica que hem fet a totes les finestres anteriors.

6.7 Implementació del sistema de guardat i carregat de dades

Degut a certa falta de temps, i per tal d'aprofitar l'última setmana per treballar petits però important detalls, fer tests exhaustius per trobar i corregir *bugs*, així com preparar els exemples que mostraré a la defensa, finalment no s'ha fet aquesta part. Per solventar-ho el programa tindrà guardats varies carreteres i vehicles predeterminats que l'usuari podrà afegir amb només un *click*. Gràcies a això podrà començar a construir el seu escenari de manera còmoda i ràpida.

7 Conclusions

Després d'uns durs mesos de treball continuat puc afirmar que el projecte ha estat un èxit en la seva major part. Pràcticament tots els objectius han estat assolits, i algunes parts m'han sorprès, com per exemple la part gràfica, doncs pensava que seria pitjor. És una gran satisfacció acabar un primer gran projecte, veient que fa allò que volia que fes.

Sens dubte hauria volgut millorar algunes parts. Per exemple, afegir la part de guardat i carregat de dades, doncs li dona un toc professional. A més, tot-hi que el meu projecte no tracta les corbes a alta velocitat on el vehicle relisca, doncs compta com a accident, hi havia un munt de física i fórmules al darrere, i m'hagués agradat fer alguna cosa, però no estava planificat ni tenia cap prioritat.

8 Bibliografía / Webgrafía

[1] Varis autores. Desarrollo en cascada. 20/1/2016.

https://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_en_cascada

[2] Varis autores. Desarrollo ágil de software. 4/2/2016.

https://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_%C3%A1gil_de_software

[3] Varis autores. Desarrollo iterativo y creciente. 21/1/2016.

https://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_iterativo_y_creciente

[4] Creación de empresas, costos variables y fijos.

http://www.emprendedorxxi.coop/html/creacion/crea_pempresa_art12.asp

[5] Mendoza, Rafa. Roles de un proyecto de software. 12/5/2014.

<https://prezi.com/unxz2gyq2dsm/roles-de-un-proyecto-de-software-rafa-/>

[6] Analista/programador (desarrollador). Març.

<http://es.ccm.net/contents/323-analista-programador-desarrollador>

[7] Jefe de proyecto de TI. Març, 2016.

<http://es.ccm.net/contents/327-jefe-de-proyecto-de-ti>

[8] Pascual, Juan Antonio. El sueldo de los programadores, al descubierto. 9/7/2015.

<http://computerhoy.com/noticias/software/sueldo-programadores-descubierto-31147>

[9] Software Tester Salary. 12/6/2016.

http://www.payscale.com/research/US/Job=Software_Tester/Salary

[10] Precio de la electricidad en tiempo real.

<http://tarifaluzhora.es/>

[11] Comparador de tarifas.

<http://www.movistar.es/particulares/tienda/comparador-tarifas-internet/>

[12] Alquiler de oficinas baratas en Madrid.

<http://www.idealista.com/alquiler-oficinas/madrid-madrid/?ordenado-por=precio-asc>

[13] Hojas de papel.

https://www.amazon.es/HP-CHP110-Papel-hojas-blanco/dp/B000JTKDCW?ie=UTF8&*Version*=1&*entries*=0

[14] Alonso, Rodrigo. ¿Cuánto cuesta la electricidad que consume tu PC?. 31/3/2015.

<http://hardzone.es/2015/03/31/cuanto-cuesta-la-electricidad-que-consume-tu-pc/>

[15] Comparar precios del consumo de energía.

<http://www.comparatarifasenergia.es/comparar-precios-de-energia/consumo-medio>

[16] Cmuriel. ¿Cuál es el precio por la reparación de ordenadores? 14/10/2013.

<http://blog.etece.es/2013/10/cual-es-el-precio-por-la-reparacion-de-ordenadores/>

[17] Prestaciones en vehículos. Juliol, 2004.

<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/laboratorio-de-tecnologias-iv/material-didactico/prestaciones.pdf>

[18] Marco, Monster. Car physics for games. November, 2003.

<http://www.asawicki.info/Mirror/Car%20Physics%20for%20Games/Car%20Physics%20for%20Games.html>

[19] Automobile catalog.

<http://www.automobile-catalog.com/>

[20] Ghosh, Sibashis. Tractive force calculation for a vehicle.

<http://blog.mechguru.com/vehicle-design/tractive-force-calculation-for-a-vehicle/>

[21] Varis autors. Parell de forces. 2/5/2016.

https://ca.wikipedia.org/wiki/Parell_de_forces

[22] Tire friction and rolling resistance coefficients.

<http://hpwizard.com/tire-friction-coefficient.html>

[23] Varis autors. Friction. 18/1/2016.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Friction>

[24] Coefficients of friction.

http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_friect.htm

[25] Varis autors. Coefficients of friction for ice. 2004.

<http://hypertextbook.com/facts/2004/GennaAbleman.shtml>

[26] Varis autors. What is the relationship between rolling resistance and velocity? 26/11/2015.

<http://physics.stackexchange.com/questions/220675/what-is-the-relationship-between-rolling-resistance-and-velocity>

[27] Albornoz Salazar, José Luis. Fuerzas desarrolladas en el frenado de vehículos.

<http://www.monografias.com/trabajos89/fuerzas-desarrolladas-frenado-vehiculos-dinamica/fuerzas-desarrolladas-frenado-vehiculos-dinamica.shtml>

[28] Varis autors. Typical maximum steering angle of a real car. 26/2/2013.

<http://gamedev.stackexchange.com/questions/50022/typical-maximum-steering-angle-of-a-real-car>

[29] JL Stanbrough. An unbanked turn. 4/1/2005.

http://www.batesville.k12.in.us/physics/phynet/mechanics/circular%20motion/an_unbanked_turn.htm

[30] Miller-Wilson, Kate. How to change gears in an automatic car.

http://cars.lovetoknow.com/How_to_Change_Gears_in_an_Automatic_Car

[31] La conducción eficiente.

http://www.uniondeconsumidores.info/conduccion/secciones/conduccion_eficiente.html

[32] Reaction time statistics.

<http://www.humanbenchmark.com/tests/reactiontime/statistics>

[33] Factores que disminuyen las aptitudes del conductor. 2016.

<http://www.todotest.com/manual/manual.asp?t=3&p=3>

[34] Driving in fog. 2/11/2015.

http://www.theaa.com/motoring_advice/seasonal/driving-in-fog.html

[35] Stopping distance.

<http://www.physicsclassroom.com/getattachment/actprep/act1ag.pdf>